

# 特別研究報告書

## 交通ログから抽出されたルールに基づく バス走行の再現

指導教員 石田 亨 教授

京都大学工学部情報学科

宮澤 佑樹

平成21年2月2日

## 交通ログから抽出されたルールに基づくバス走行の再現

宮澤 佑樹

### 内容梗概

近年、都市交通における問題を解決するための手法の一つとして、マルチエージェントシミュレーションを用いることが多くなっている。マルチエージェントに基づく交通流の再現では、個々の車両を、個別の内部状態と意思決定のための関数を持ったエージェントとして定義し、全体の交通を再現するという手法がとられる。車両を表現するエージェントモデルを構築するためには、走行データを収集しその車両の特徴を捉える必要がある。しかし、都市全体の交通流を再現するためには、個々の車両をエージェントとし、運転者の特性を踏まえた走行モデルを構築する必要がある。そこで本研究では、都市交通の流れを再現するための第一段階として、路線バスの走行に着目し、路線バスの運行を再現することを目指した。実測データを用いて、バスの走行を特徴付ける要因である、通りや系統、日時などの集合を求め、それをモデルとして定義する。路線バスは、1) 始発駅と終着駅、あるいはバス停間など始点と目的点があらかじめ定まっていること、2) 走行する経路もあらかじめ定まっていること、3) 定まった走行経路を時刻表で表されているように、ある程度一定の時間で走行することから、走行挙動に関して一般の車両に比べて制約があるものと考えられる。また路線バスは、追越や追抜き、急な加減速など特殊な挙動をすることが少ないため、実測データを統計的に調べることでルールを得ることが出来ると考えられる。

本研究では、京都市交通局から提供された京都市営バスの運行データを基にして、典型的なバスの走行を再現するための特徴を抽出しモデルを作成した。提供された運行データは、バスの車両IDや系統番号のほかに、市内の主要な交差点に設定された検知点に進入、退出した時刻しか記録されていないため、車両の走行を再現するためには、ある検知点を出てから別の検知点に入るまで、バスがどのように走行したかを補完するためのデータが必要となる。一方で運行データは、2007年9月から2008年12月までの1年間以上記録されているため、これらのデータから速度や走行時間など、検知点間でのバスの走行を決定する要因の推測を行った。京都市は東西・南北に通じる道路によって碁盤の目状に区切られており、通りや時間帯によって交通量に差がある。また、市内には多

くの観光名所があり，そのような場所を巡るバス系統や，他府県からの観光客が多くなる時期もバスの走行に影響を与えられる．よって，通り，系統，日時などの要因をもとに運行データを分析し，これらとバスの走行速度との関係を調べた．

分析および推測の結果，以下のようなルールを持つモデルを設計，実装した．

- 走行する通りが定めれば速度が決定される
- 走行する月日が定めれば速度が決定される
- 走行する時間帯が定めれば速度が決定される

実装したバスのエージェントを用いてシミュレーションを行い，路線バスの走行が再現できていることを確認した．また，シミュレーション結果をビューアで可視化し分析することで，運行データを分析するための新たな方針を得ることができた．

本研究における主な貢献は以下の二点である．

- 入手可能な実データから車両のエージェントモデルを獲得した．ここでは特に，都市交通の一要素として，京都市交通局から提供された市営バスの運行データを基に，路線バスの走行を再現するエージェントモデルの設計，実装を行った．
- モデルを構築するために十分でない実測データを基に，バスの走行を決定付ける要因を推測し，走行を再現するためのルールを獲得した．1年間分のログデータをバスの走行に影響を与えられる要因ごとに分析を行い，モデルの構築に必要な走行速度を推測した．

本研究では，都市の交通を一般車両や路線バスなどいくつかの構成要素に分けて捉え，このうち特に路線バスについて，実際に得られたログデータを基に，エージェントモデルの構築を行った．

## Reproducing Bus Driving Based on Rules Extracted from Traffic Log

Hiroki MIYAZWA

### Abstract

Recently, the multiagent simulation is often used as an approach to solve the problems in urban traffic. Reproducing of the traffic flow based on the multiagent simulation is approached through the method that defines several factors composing the system as an agent which has each internal state and any function for decision-making and cause whole behavior by the interaction between some agents. To design the vehicle model, the driving data that catches the feature of the vehicle is required. However, to reproduce the traffic flow in the whole city, it is necessary to collect the running data and to catch the feature of the vehicle. However, it is difficult to make an individual vehicle an agent, and to prepare the model by which the driver characteristic is based.

In this research, as the first step to reproduce the flow of the urban traffic, I focused on the running of the shuttle bus. And I try to reproduce the operation of it. A shuttle bus is 1) set the origin and the destination such as a starting station and the arrival station or the bus stop, 2) also set the routing line in advance, and 3) travels based on the timetable at the provided time. So it is thought that there are some restrictions about the running of the shuttle bus.

In this research, based on the service logs which are provided with Kyoto city transportation bureau, I extracted the rules to reproduce the typical running of the shuttle bus. And I designed agent model of it. The bus ID, the route number, and the times when the shuttle bus passed the detection point, which located on the main intersection in Kyoto city, were recorded. So to reproduce the running of the bus, it is required to get the data about the running between one detection point and another detection point. On the other hand, the service log is recorded for one year or more, from September, 2007 to December, 2008. So using this data, I guess the factor of the traveling of the bus among the detection points, such as the speed and the running time. Kyoto city is divided by a road which leads to east and west and north and south, and the traffic volume are characterized by the streets or time of a day. And there are many tourist spot in

the city, so it is thought that the buses which run nearby those spot is influenced on the season when the number of the tourists becomes increasing. Therefore, I analyzed the service log about the streets, routes, times, and I examined factors related to the speed of the bus.

In the result of the analysis and calculation, I designed and implemented the model with the following rules.

- If the street which the bus runs is decided, then the speed of it is determined.
- If the month which the bus runs is decided, then the speed of it is determined.
- If the time which the bus runs is decided, then the speed of it is determined.

To reproduce the running of the shuttle bus, I simulated it using the rules which described the typical running of the bus. Moreover, viewing a simulation result enabled to analyze the log data and get a new factor related to the running.

Main contribution in this research is following two.

- I acquired an agent model of a bus from available log data. In this research, using the service log provided from Kyoto city transportation bureau, I designed and implemented the agent model to reproduce the running of the shuttle bus.
- Based on the incomplete data to design the agent model, I guessed the factors related to the running of the shuttle bus, and acquired the rules to reproduce the running. I analyzed the factors which influenced on the running, and I guessed the driving speed of the bus.

In this research, as an element of the urban traffic, I extracted the rules about the typical running of the bus, and designed and implemented an agent model to reproduce the running, using the available service log.

# 交通ログから抽出されたルールに基づくバス走行の再現

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	関連研究	3
第3章	交通ログの内容	6
3.1	交通ログが記録される仕組み	6
3.2	交通ログの記述	9
第4章	ログデータの分析	11
4.1	走行時間による分析	11
4.2	分析結果	13
第5章	バス運行の再現	18
5.1	走行ルールの抽出	19
5.2	適用結果	20
5.3	考察	21
第6章	おわりに	22
	謝辞	23
	参考文献	24

## 第1章 はじめに

近年、複雑化した社会を把握・理解するための手段として、コンピュータを利用した社会シミュレーションが注目されている。物理学や化学、生物学の分野では、さまざまな自然科学的システムのモデル化が行われ、既に多くの場面で用いられている。これらのシミュレーションでは、トップダウン的なアプローチが取られることが多いが、一方で、マルチエージェントシミュレーションは、システムを構成する個々の要素を、個別の内部状態と意思決定のための任意の関数を持ったエージェントとして定義し、複数のエージェント間の相互作用によって全体のシステムを表現するボトムアップ的なアプローチが採られる。自律的な意思決定・行動の主体である人間を、シミュレーションにおけるエージェントに素直にマッピングできることから、人間の集合から構成される社会システムの分析のツールとして、マルチエージェントシミュレーションは適している。

マルチエージェントシミュレーションの適用分野は、災害時における避難誘導実験 [1] など多岐にわたっているが、有望な適用先として交通問題が挙げられる。交通では、個々の車両や道路、信号などの多数の構成要素が相互に作用することによって、複雑な交通現象を引き起こしていると見ることが出来る。この車両をエージェントとしてモデル化することで、様々な交通現象を再現したり、都市交通を理解・分析するための研究が行われている [2]。また、交差点、踏切、高速道路の合流部、勾配が連続的に変化するサグなどで発生する、局所的な渋滞の対策を検討する際にも、マルチエージェントシミュレーションが用いられている [3, 4, 5]。しかし、都市全体の交通をマルチエージェントシミュレーションで再現する際に問題となるのが、個々の車両をエージェントとして、運転者の特性を踏まえてモデル化することは、多くのモデルを構築することになり困難である。

そこで本研究では、都市における交通の流れを再現するための第一段階として、都市交通の主体として路線バスの走行に着目し、バスの走行を決定付けるルール集合をモデルとして位置づけ、実測データを用いて、特に走行速度がどのように決定付けられるのかを調べる。路線バスは、

- 始点と終点があらかじめ定められている
- 終点へ向かうまでの経路があらかじめ定められている
- 経路を定められた時間で走行する

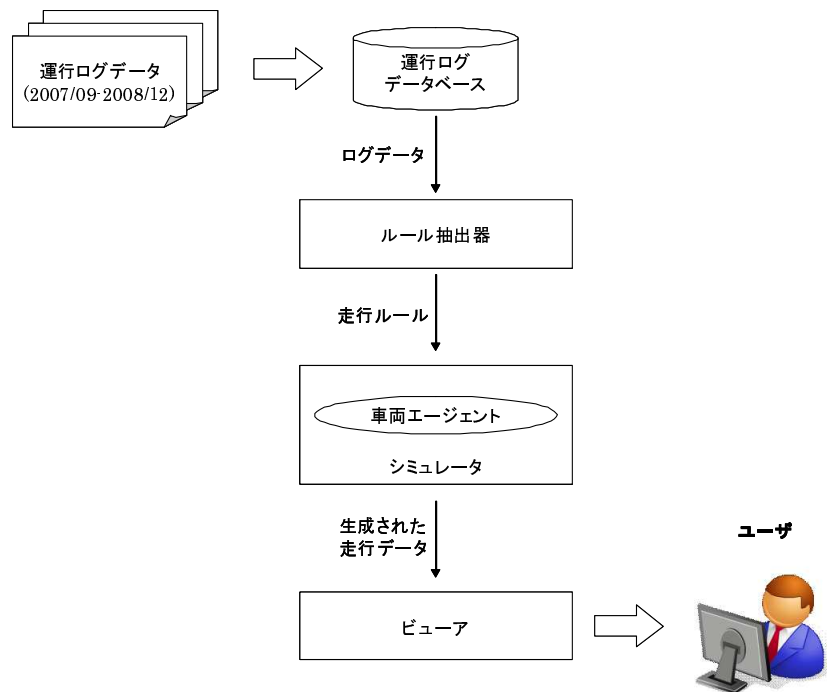


図 1: ログデータを用いたモデル構築のプロセス

という制約がある。また路線バスは、他の車両に比べ、追越や急な加減速など特殊な挙動をしないため、モデルを構築しやすいと考えられる。本研究では、京都市交通局から提供された京都市営バスの運行ログデータ約一年間分（2007年9月から2008年12月）を基にして、典型的なバスの走行を再現する車両モデルの構築を行う。今回利用できる運行ログデータには、京都市内のいくつかの主要な交差点に設定された検知点の周辺に進入、退出した時刻しか記録されていない。このままでは、バスの走行を決定づけるような特徴を得ることは難しいが、二つの検知点において、初めの検知点を出た時刻と次の検知点に進入した時刻の差を取ることで検知点間の移動にかかった時刻を求め、検知点間での走行挙動を推測し、バスの走行を特徴付ける要因を分析し、典型的なバスの走行を再現することを目指した。

具体的には、多量のログデータが利用可能であることを利用し、バスの走行を決定付けるいくつかの要因を仮定して検知点間の走行時間や速度を分析し、モデルに与えるルールを抽出する。その後、ルールを実装した車両エージェントをシミュレーション上で走行させることによって、バス運行が再現できていることを確認する。本研究の概要を図1に示す。

本論文では、第2章で関連研究として、マルチエージェントモデルの技法を用いて、交通の主体として個々の車両を自律性の持つエージェントとして定義した、交通問題への適用例を紹介する。第3章では、本研究で取り扱う、路線バスの走行ログデータがどのように記録されるか、またどのような形で記録されているのかについて述べる。第4章では、バスの走行を特徴付けると考えた、系統や時間帯、月などの影響ごとにログデータを分析する。第5章では、第4章で行った分析を基に、一般的なバスの走行を特徴づけるルールを検討し、バスの走行を再現する。最後に、第6章で本論文のまとめを行う。

## 第2章 関連研究

本章では、関連研究として、マルチエージェントモデルの交通問題への適用例を紹介する [6]。運転者は、普段、道路状況や交通標識、近傍に存在する他の車などの周囲の情報を取得し、それをもとに、加減速、停止、右左折、追い越しや車線変更などの交通行動を決定している。また、さらに運転者は周囲の情報だけでなく、地図やカーナビゲーションシステムなどから取得できる、大域的な情報も利用するため、ローカル及びグローバルな交通情報の利用形態を精密に模擬できることが求められる。したがって交通流シミュレータの内部に存在する車も、これに習った形で自身の挙動を決定できることが望ましい。これに加えて、多様な交通情報を受け取った運転者は、運転者の個性に合わせて、情報を適宜取捨選択したり、独自の評価を加えながら運転を行う。このような運転者個人の特性を扱えることも重要な要件である。

ここで紹介する研究では、このような知性および個性を持った人間集団が作り出す複雑系としての交通現象の本質を取り入れるために、道路交通の主体である個々の車両を、能動的に自分自身で情報を集めて行動する主体性、すなわち自律性を持つ知的エージェントとしてモデル化している。人間という知的レベルの高い主体が多数集まり相互作用を起こす交通現象をより精緻に再現するために、自動車（運転者）や歩行者などのように、情報を知覚しそれをもとにして自立的に行動を起こす主体を「知的エージェント」、またそれを取り巻く世界を「環境」と定義し、シミュレーションの構造は全体としてマルチエージェントのフレームワークに基づき、車両（運転者）に関しては、知的エージェントのフレームワークに基づいているため、知的マルチエージェントモデルと呼

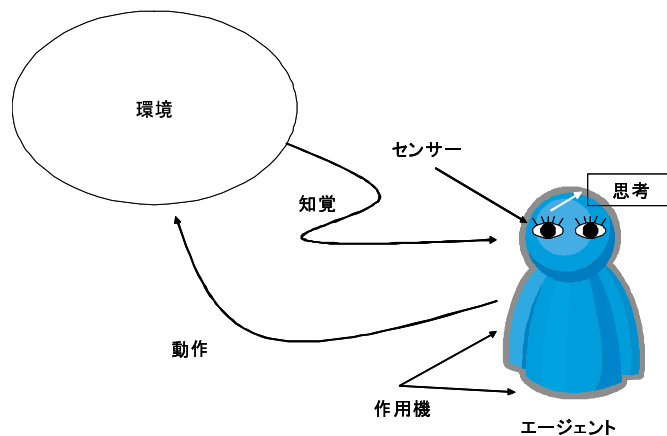


図 2: 知的エージェントの模式図

んでいる。

- 知的マルチエージェントモデルの構築

車を独立した知的エージェントとして定義するとき、最も重要なのは交通行動を自律的に行えなければならないことである。車エージェントに必要な自律性としては、以下のものを考えている。

**A** 道路ネットワーク上での動きに関する自律性

- プランニング（出発地と目的地の確認）
- 経路の探索（複数の経路あり）
- 経路の選択（自分の好みの経路を選ぶ）

**B** 道路上を運転する能力

- 交通規則に関する知識とそれに従う運転
- 速度決定
- 車線変更，合流，分岐
- 交差点での対向車を意識した右左折
- ある道路内での経路決定（レーンの選択）

知的エージェントのイメージを図 2 と、環境との相互作用の様子を図 3 に示す。

知的エージェントは、情報を知覚するセンサーと動作を実行する作用機を持っており、これらは知的エージェントが実際に適用される時点で、問題にあわせて定義される。

- 環境のプロトコル

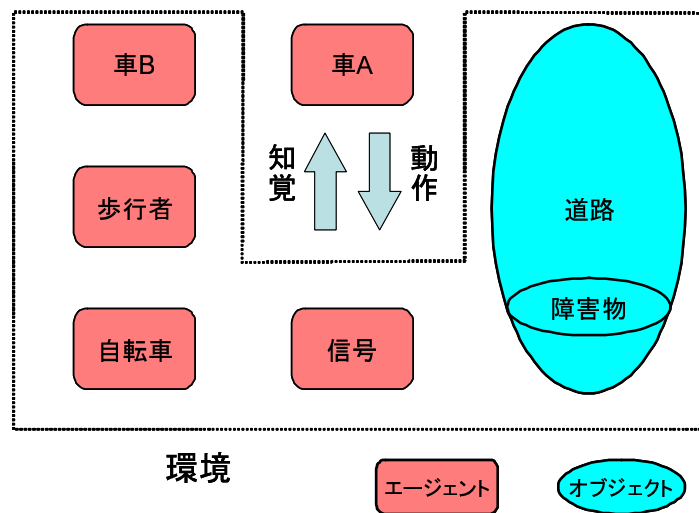


図 3: 車エージェントと環境の関係

環境とは、道路構造とそれに含まれる情報一般を指す。車両エージェントが信号を見ることを可能とするためには、環境が信号の色を保持するだけでなく、信号を見るという行為の見返りとして、適切な情報を提供できる必要がある。本来であれば、エージェントは自身から環境が保持する情報を自律的に収集すべきである。しかし、環境はすべての情報を保持しているものの、エージェントによって知り得る情報と知り得ない情報があるため、どこかでそのエージェントが知り得るべきかどうかの判断を行う必要がある。この判断はエージェント側でなく、環境側が判断すべきであると考えた。そこで、エージェント-エージェント間での情報のやり取り、および環境-エージェント間での情報のやり取りをプロトコルとして定義している。

この研究では、実際の地域への適用を行い、シミュレーションの現状再現性を調べている。シミュレーションを行う際の入力として、警察などから提供された。交差点形状の詳細データや系統制御されている信号現示データを用いている。また、普通車と大型車の2種類の車エージェントを発生させ、シミュレーションを行っている。普通車と大型車の違いは、物理的なサイズの違いの他に加減速のパラメータで表現し、大型車の加速性能を低めに設定するなど差を作っている。交通需要の発生は、道路の端点から行い、端点ごとに時間当たりの交通需要で与えた。ただし、交通需要に関しては、現実的な値を入手することが困難であったので、推定値を入力した。大型車混入率に関しては、道路毎、1時

間毎に計測された値が入手できたため、これらの値を用いている。累積交通量に関する実測値との比較を行うことにより、定性的にはかなり現状を再現していることを確認した。絶対値レベルでの定量的な現状再現性については、信頼できる交通需要データの入手などが今後の課題となっている。

また、この研究の拡張として、歩行者モデルの実装も行われている [7]。歩行者を扱うための道路モデルを、車の存在空間とは独立して定義し、歩行者空間と車空間のコミュニケーション方式を定義している。また、シミュレーションの対象を横断歩道に限定して行っている。

交通シミュレーションへの適用として、マルチエージェントシミュレーションが用いられることを示した。問題となるのは、シミュレーションに必要な交通需要データなどの多くの実測データが必要となることである。この研究では、追従型の草稿モデルを基本として、一般的な交通行動からエージェントモデルを構築しシミュレーションを行っているが、本研究では、車両の走行ログデータからモデルの構築を目指す。

## 第3章 交通ログの内容

本研究では、京都市交通局から提供された、京都市営バスの運行ログデータを利用する。本章では、走行モデルを獲得する前段階として、ログデータからどのような情報を得ることが出来るかについて論じる。3.1では運行ログデータがどのような場所で記録されるかについて述べる。3.2ではログデータに記録されている情報について述べる。

### 3.1 交通ログが記録される仕組み

本研究では、京都市交通局から提供された京都市営バスの運行ログデータを利用する。ログデータは、図4で示すように、京都市内に設置された検知点と呼ばれる場所を通過した際に信号がデータセンターに送られ記録されている。検知点には2種類あり、実際に路上通信機が設置されている場所を「検知点」、GPS情報を用いて情報を取得している場所を「仮想検知点」と呼称している。図4において、青色で描かれているものが検知点であり、赤色で描かれているものが仮想検知点である。検知点は主に車庫、操車場およびバスターミナルの付近に設置されており、市内全域でおよそ70カ所設置されている。検知点では、

# 全体図

2008. 3. 29時点

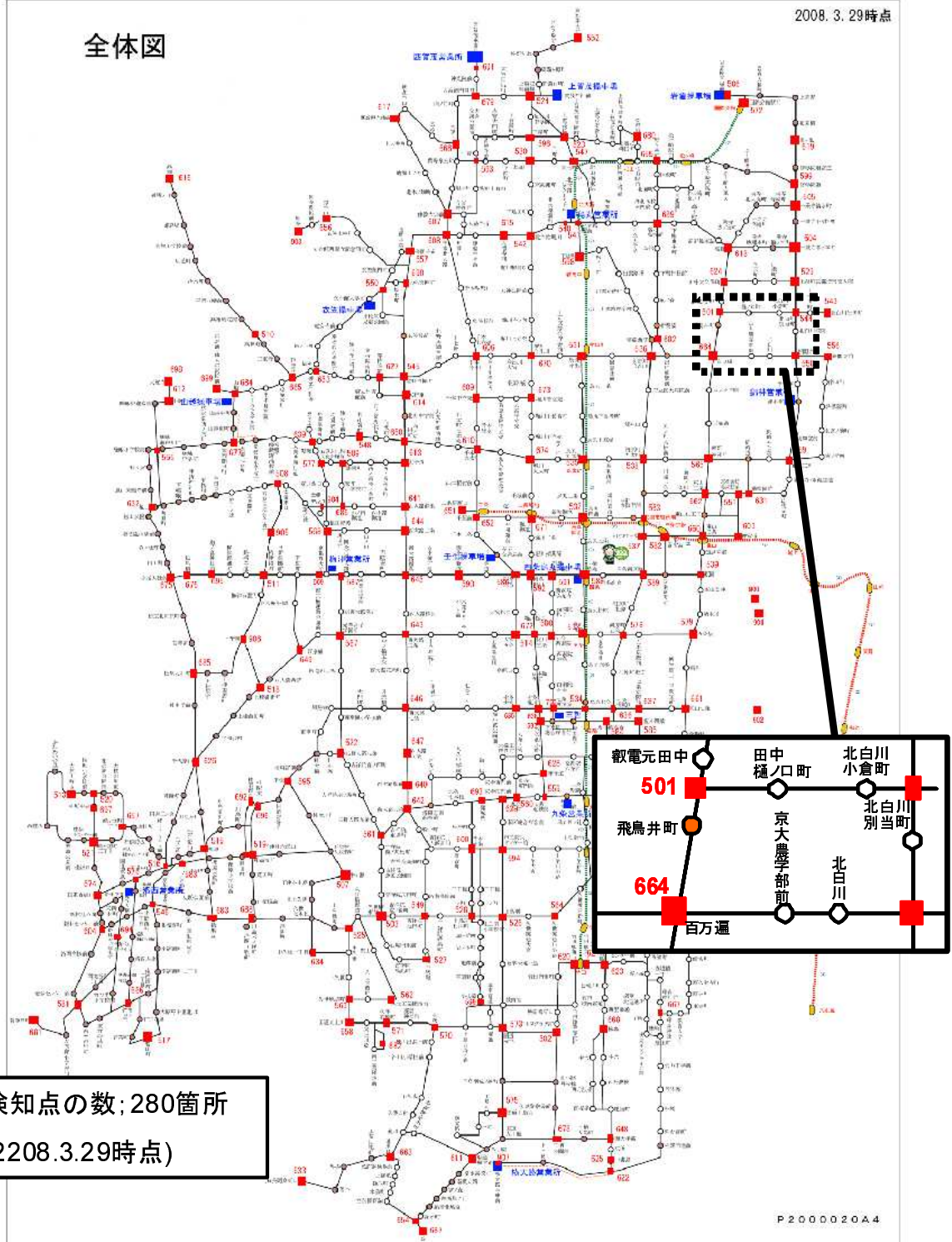


図 4: 京都市内に設置されている検知点



図5: ログデータが記録される仕組み

路上通信機を用いてバスの接近を検知しているため、ログデータには検知点付近に進入した時刻のみが記録されている。

一方で、仮想検知点は主に市内の交差点付近に設置されており、バスが取得しているGPS情報をもとにしてバスの運行を記録している。車載器には仮想検知点の情報が記憶されており、GPS情報から、バスが仮想検知点の付近に来たときに信号を発信しログデータが記録される仕組みとなっている。仮想検知点では、仮想検知点の周囲に設定されたエリアに進入したときの時刻と、エリアから退出したときの時刻が記録される。図5において、仮想検知点でログデータが記録される仕組みを示す。仮想検知点は、市内で210カ所の地点に設定されている。

ログデータには検知点、仮想検知点に関する緯度、経度などの詳細な情報は記録されていないため、これとは別に、検知点の名称や設置地点に関する情報を記述したファイルが用意されている。表1に仮想検知点に関する情報をまとめる。

それぞれの項目では以下の内容が記録されている。

- 検知点番号：設置されている検知点にユニークに与えられた番号
- 略称：検知点名の略称  
例. 北大路バスターミナル西側 → 北B T西側
- 仮想検知点名称：検知点の名称

表 1: 仮想検知点の詳細

検知点番号	略称	仮想検知点名称	ふりがな	緯度 (北緯)			経度 (東経)			中心からの距離				発生条件 (IN/OUT)	応答有無
				度	分	秒	度	分	秒	東	西	南	北		

- ふりがな：名称のふりがな
- 緯度（北緯）：度分秒形式，日本測地系で記録されている
- 経度（東経）：度分秒形式，日本測地系で記録されている
- 中心からの距離：検知点が覆う範囲を東西南北の長さで指定
- 発生条件：信号を送る際の条件，IN/OUT で発信される
- 応答有無：全て「無」になっている

「中心からの距離」は，検知点が覆うエリアを東西南北の各方向の長さで指定している．エリアは，仮想検知点が設置されている形状に合わせて設定されており，基本的には正方形で設定されているが，幅員の大きい道路との交差点ではその形状に合わせるように長方形になるよう値が設定されていることもある．図6および図7はそれぞれ，四条烏丸，五条坂に設定されている検知点のエリアを図示したものである．四条烏丸では中心からの距離が60m四方に設定されているが，五条坂では，東西方向が45m，南北方向が60mと設定されている．

### 3.2 交通ログの記述

利用できるログデータは2007年9月1日から2008年12月31日までのおよそ一年間分である．一日のログデータは，その日設置されていた検知点コードと検知点名称の一覧，運行していた系統コードと系統名の一覧，運行ログデータの三つから成り立っている．運行ログデータはテキストファイルで記述されており，七つの営業所ごとに分けられて記録されている．一つのレコードは34



図 6: 四條烏丸における検知点の範囲

図 7: 五条坂における検知点の範囲

表 2: 運行ログデータのフォーマット

項目名	所属コード	車両番号	通過年月日			通過時刻			系統コード	検知点コード	IN/OUT情報	氏名コード
			年	月	日	時	分	秒				
桁数	2	4	2	2	2	2	2	2	5	3	1	7

桁の文字列であり、一日分のログデータを全て合わせると、およそ 220,000 行分となる。表 2 にログデータの仕様を示す。

それぞれの項目では以下の内容が記録されている。

- 所属コード：車両が所属している営業所の番号
- 車両番号：各車両にユニークに与えられた番号
- 通過年月日：車両が検知点を通過した年月日
- 通過時刻：車両が検知点を通過した時刻
- 系統コード：路線バスの系統

一般に表示されているような表記ではないため、対応表などから読解する必要がある。(例. 20601 → 206系統 千本通 京都駅ゆき)

- 検知点コード：通過した検知点を表す 3 桁の数字
- IN/OUT 情報：検知点の持つ検知エリアに入ったか出たか

進入したときに1(=IN), 退出したときに2(=OUT)の値が記録される。

- 氏名コード：運転士の氏名を表す7桁の数字列

ログデータに記録されている通過年月日, 通過時刻および検知点コードと, 表1で示した検知点番号とそれに対応する検知点の名称や, 設置されている地点の緯度, 経度とを用いることで, 特定のバスが, ある時間帯においてどこを走行していたかを知ることが出来る。ただし, 図4で示したように, 検知点は交差点付近など互いに離れた位置に設置されているため, 検知点の間をどのように走行したかはわからない。二つの検知点間の距離を求め所要時間で分割し, 線形補完を行うことで過去の運行を推測することは可能であるが, これでは将来的に都市の交通を理解するためには不足である。よって, 検知点の間の走行がどのようなものであるかを, 複数のログデータを用いて推定する必要がある。

## 第4章 ログデータの分析

利用できるログデータの性質を第3章で述べた。第3章で見たように, ログデータには, 車両がある検知点付近に進入した, あるいは出た時刻しか記録されていない。このため, 検知点の間を車両がどのように走行するかを推定する必要がある。ここでは, 典型的なバスの走行を再現するために, 各検知点の間をバスが移動するのにかかる時間について, 通りや場所, 日時をわけて調べることによって, 平均してどの程度なのかを調べた。通りは, 現在通過した検知点と次に向かう検知点の間として定義する。

### 4.1 走行時間による分析

第3章で述べたように, ログデータには検知点を通過した時刻のみが記録されている。そこで, 隣接する二つの検知点に着目し, 検知点間の移動にかかった時間を調べる。初めに通過する検知点を始点, 次に通過する検知点を終点と呼ぶことにする。今, 始点の検知エリアから出た時刻OUTと, 終点の検知エリアに入った時刻INがログデータに記録されているため, INとOUTの差をとることで始点と終点の間にかかった時間を求めることができる。また, 地図データを用いることで, 始点から終点までの距離を得ることができるため, おおよその速度を求めることができる。図8に, 始点を四条烏丸, 終点を四条河原町としたときの例を示す。



図 8: 走行時間の導出

ログデータに記録されている時刻は、さまざまな要因が影響しているため一定ではない。考えられる要因として、GPS情報の取得による誤差や、検知点間を走行しているときに生じる差が考えられる。検知点間で生じる差としては、信号での停車時間などが考えられる。ここでは、ログデータを一年間分利用できることから、これらの差異は所要時間の変動に大きな影響を与えないものと考えられる。実際に、運行ログが十分にあれば、二つの検知点間の所要時間のヒストグラムをとったとき、ほぼ特定の値の範囲に出現頻度が集中している。

本研究では、所要時間の変動に影響を与える要因として、走行している通りによる影響、時間帯や月日による影響を考え分析を行った。これらの要因に注目する理由として、次のようなことが考えられる。京都府は南北に細長いという地形的特徴があるが、高速道路網の連結が未発達であり、また京都市内の中心部から高速道路IC（京都南IC、京都東IC、沓掛IC）までは距離が長いので、特定の路線に交通が集中し、渋滞や混雑が発生している。また、京都市は年間4,900万人を越える（平成19年度）観光客が来訪する観光都市であり、観光シーズンには観光客が集中し、観光地周辺の交通渋滞が問題となっている。京都市観光調査年報によれば、図9に示すように、1年のうち観光客数の総数は2月が最も少なく、11月が最も多くなっている。このことから、時期によって交通需要が変化し、交通流が変動することによってバスの走行が変化するものと考

観光客数の推移

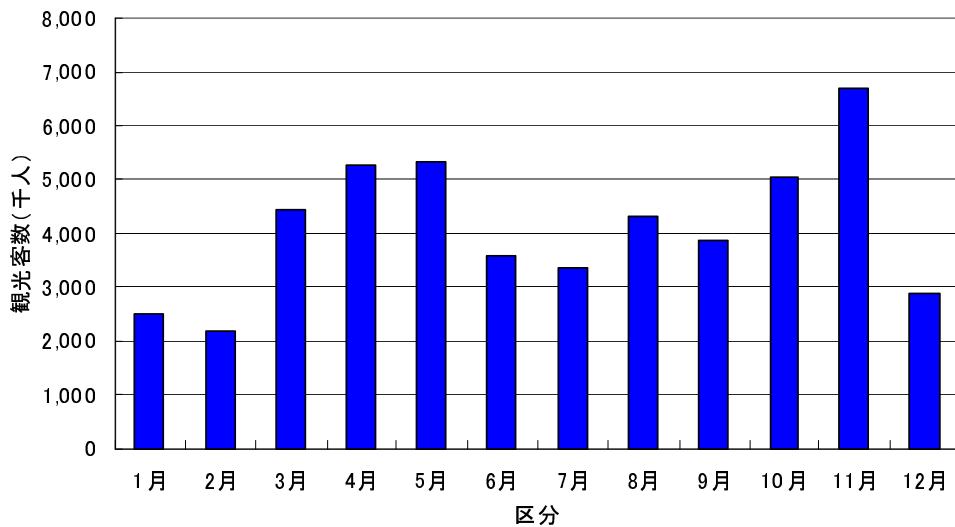


図9: 観光客数の推移

えた。

分析を行うにあたり、分析を容易にするために、運行ログのデータベースを構築し分析ツールを作成した。データベースは検知点番号と検知点名称の対応を記述したテーブル、システムコードとシステム名を記述したテーブル、運行ログのテーブルの三つから成り立っている。分析ツールは、分析の対象となる検知点の組、月、曜日、システムをYAML<sup>1)</sup>ファイル上で指定することで、データベースから指定された日付、曜日で検知点を通じたレコードを取り出す。これらのうちから、一つ目の検知点を出たレコードと、次の検知点に進入したレコードがペアになるように選択し、記録された時刻の差を計算する。このように求めた計算結果を基に、システムごとに各検知点間の所要時間を求め時間帯ごとに出力する。

図10に今回用いたファイルの例を示す。

## 4.2 分析結果

ここでは、206システムを対象を絞り分析を行った。206システムを対象とする理由として、観光客の訪問数が多い観光地の付近を通る路線を運行しているため、時期により旅客による走行への影響が見込めるからである。また、システムによって

<sup>1)</sup> <http://yaml.org/>

```

start2goal: [
  "バスが通過する検知点を指定"
]

# 分析する時間帯を開始時刻, および終了時刻で指定
starttime: "05:00:00"
endtime: "23:59:00"

# 分析する月を指定
#month: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

# 分析する曜日を指定
dayofweek: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]

...

# 分析を行う系統番号を指定
route: ["20601"]

# 1時間間隔で分割して分析
timespan: 3600
splitby: "timeroute"

...

```

図 10: YAML ファイルの例

差が生じるかを見るために、類似した路線を運行する 31 系統, 65 系統についても所要時間を算出し比較を行った。得られた結果を以下に示す。ここでは、特徴が大きく出ているグラフのみを示している。

- 交通需要の増加による影響

観光客が多く来訪することにより、特に観光地周辺への交通需要が高まり、バスの運行にも影響が出るものと考えた。206 系統が運行している路線に設置されている検知点の間の移動にかかる所要時間を調べ、平均と分散、および所要時間のヒストグラムを求めた。観光地付近に設置されている検知点の間を走行するとき、特に月による影響が大きいことがわかった。図 11 は 2 月 11 時台におけるグラフ、図 12 は 11 月 11 時台におけるグラフである。2 月 11 時台の平均は約 352 秒であるのに対し、11 月 11 時台では約 387 秒と 30 秒ほど多くかかっている。

- 路線による影響

ここでは、系統による所要時間の差について調べる。類似した路線を走行したとしても、バス停での有無や、運行している本数の差、向かう目的

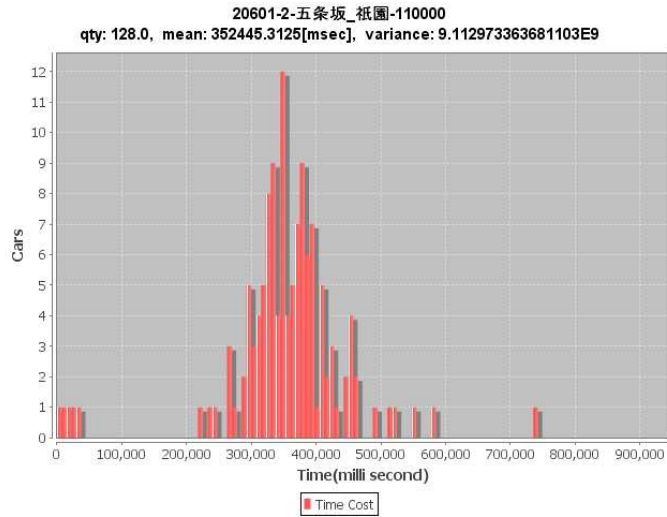


図 11: 2月 11時台におけるヒストグラム

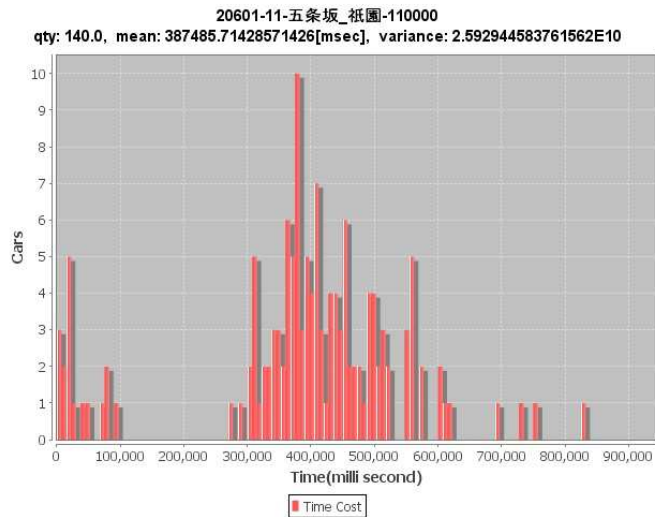


図 12: 11月 11時台におけるヒストグラム

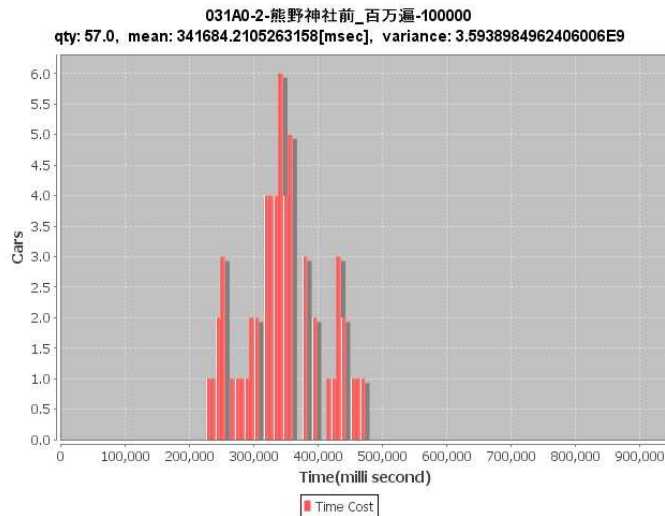


図 13: 31 系統のヒストグラム

地の違いによって、乗車する旅客の数に差が生じて、運行に影響がでるものと考えられる。今回は、比較的類似した路線を走行する 206 系統, 31 系統, 65 系統を対象に分析を行った。これら 3 つの系統は、一部同じ区間を走行するため、信号の数など道路環境における条件をそろえることが出来る。この区間を対象に、月・時間帯をそろえて所要時間の平均、分散を求めた。図 13, 14, 15 は、3 系統が走行する区間のうち、一部の検知点間における、各系統の 2 月 14 時台における所要時間のヒストグラムである。時間帯によって差はあるものの、65 系統は比較的所要時間が短いのに対し、31 系統, 206 系統はおよそ 30 秒ほど多くかかっている。

- 時間帯による影響

時間帯による影響の差があるか調べる。同じ系統, 同じ月でも、通勤、帰宅の時間帯や旅行客が多く訪問すると考えられる午前中の時間帯では、他の時間帯に比べてバスの運行に影響が生じているものと考えられる。ここでは、206 系統, 11 月の二つの検知点における時間帯別の所要時間の平均、分散を調べた。運行の始まる 6 時から 23 時までのログデータを調べた結果、6 時から 8 時台及び 21 時台, 22 時台は所要時間が 300 秒を越えない値に集中している一方で、他の時間帯では 300 秒を越え、特に 13 時から 17 時代は 400 秒を越えることがわかった。

図 16, 図 17 に 8 時台, 13 時台におけるヒストグラムを示す。8 時台では平均値としておよそ 280 秒付近に速度が集中しているが、13 時台では、平

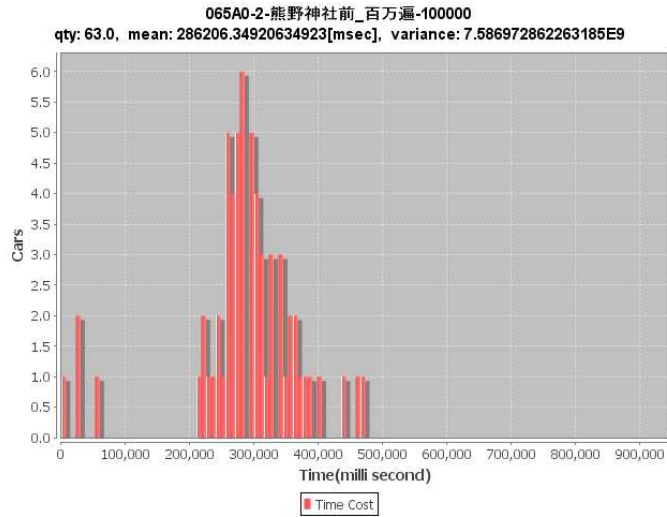


図 14: 65 系統のヒストグラム

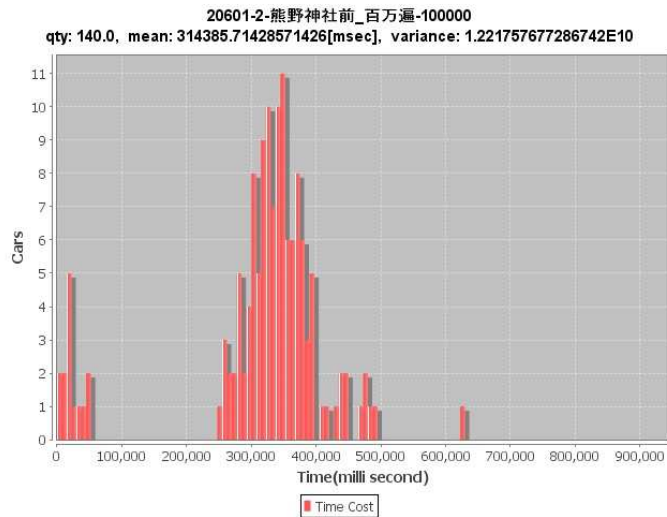


図 15: 206 系統のヒストグラム

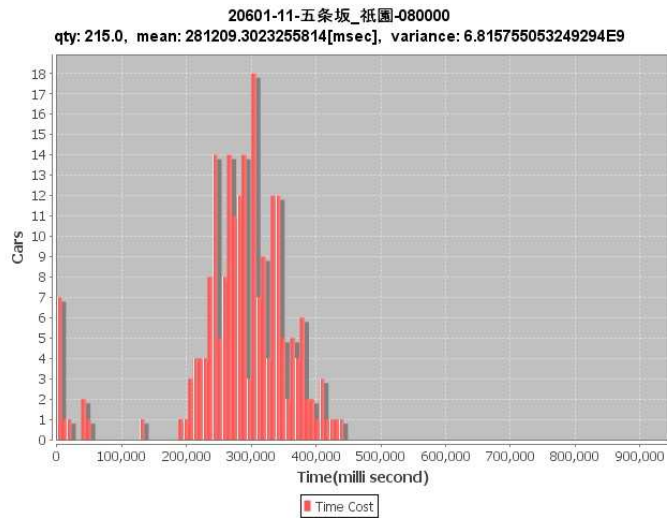


図 16: 8 時台におけるヒストグラム

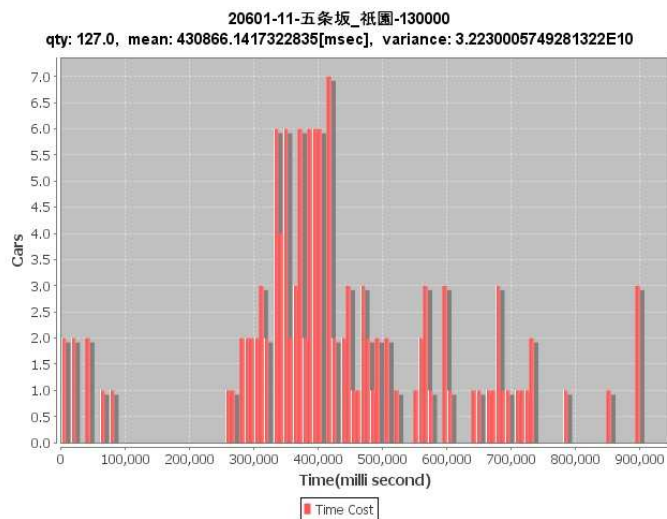


図 17: 13 時台におけるヒストグラム

均値が 430 秒を越えており、また全体的にログデータから得られる値も 400 秒以上の値にばらついていることがわかる。

## 第 5 章 バス運行の再現

第 4 章では、入手したログデータの分析を行った。ここでは、分析した結果から典型的なバスの走行を表現する走行ルールを抽出し、バスの運行を再現する。

## 5.1 走行ルールの抽出

バスの走行速度を決定付ける要因として、周囲の交通流による影響がある。周囲の交通流は、時間帯や月によって変化するものと考えられる。例えば、通勤、帰宅の時間帯や、観光客が多く移動する時間帯など、人が活動する時間帯によって交通流は変化する。同様に、観光客が多く訪れる季節では、都市の外部からの訪問者も合わせて、交通流に大きな影響を与えるものと考えられる。また、バスの系統も走行を決定付ける要因として挙げられる。系統によって走行する場所、終着駅が違うため、途中で乗り降りする旅客人数に差があることや、同じ道を走行したとしても、一つのバス停に停車するか否かで、走行挙動に差が生じる。よってここでは、走行決定の要素として、バスが走行している系統、通り、月及び時間帯によって、走行速度が決定されるものだと考える。基本として、ログデータから得られる走行時間のうち代表となる値を取得して速度の計算に用いる。しかし、平均値をそのまま代入することは、過去のある一点のみの再現となってしまう、車両の挙動を理解するには不十分である。そこで、取得する走行時間に幅を持たせることにした。

具体的には、分析ツールを用いて得られた平均値および分散値を用いて、同じく分析ツールから得られたヒストグラムを、正規分布で近似する。以下に手順を示す。

1. 平均および分散から、所要時間のヒストグラムを正規分布で近似する。  
まず、ログデータの平均値および分散値を計算して求める。正規分布は、平均値  $\mu$  および分散値  $\sigma$  を与えれば決定することが出来る。
2. 近似した正規分布を用いて乱数を生成する。  
正規分布に従って乱数を生成する。
3. 乱数からエージェントが検知点間を移動する時間を得る。  
得られた乱数が2つの検知点を移動するのに必要な時間となるので、検知点間の距離をこの乱数で割れば平均速度を得ることが出来る。  
このように検知点間を移動する距離を与えることで、ある程度不規則な要素も考慮した走行挙動を推測することが出来る。



図 18: 速度を与えているグラフとシミュレーションの結果

## 5.2 適用結果

以上のようにして得られた走行時間、速度をもとにシミュレーションを行った。シミュレーションの対象として、206 系統、11 月での走行挙動を採用した。206 系統を対象としたのは、観光地の付近を走行することや、所要な駅とバスターミナルを結ぶ路線であり交通需要の多い場所を走行していることから、5.1 で述べたような、月、時間帯などのバスの走行に影響を与える要因を多く含んでいるものと考えられるからである。

図 18 にシミュレーションを行った結果を示す。ここでは、便宜上地図上に複数の車両を表示している。本来は、時間の経過とともに車両のアイコンは与えられた速度に従って、路線を走行していく。図中の左にあるグラフは、バスの速度を計算する際に用いた分析結果を示したものである。シミュレーションを行う前に、あらかじめ分析ツールを用いて系統番号、始点となる検知点、終点と

なる検知点，月，時間帯，平均，分散などを計算した結果を準備しておく．系統名と現在いる検知点の名前，走行している月と時刻を指定して実行すると，指定された値を用いて分析結果を読み込み，条件にあったレコードから平均値と分散値を得る．これを基にして正規分布に従う乱数を発生させ，現在いる検知点から次の検知点へ向かうまでの所要時間を得る．次に，道路情報データから2つの検知点の間の距離を得て走行速度を計算する．そして，次の検知点を現在いる検知点として，現在時刻を更新してから再び必要な分析結果のレコードを見る．このプロセスを終着駅となる検知点まで繰り返すことによって，ある車両の動きを再現することが出来る．

1. バスが走行している七条京阪前から東山七条の区間における，11月の11時台での所要時間のヒストグラムを示したものが左下部のグラフである．ログデータから，この条件下での所要時間の平均値および分散値がわかるので，所要時間を得ることができる．
2. 1.から走行している通りが変化したため，1.と同じ分析結果を用いずに，新たに左中部にあるグラフで示される結果を基にして，所要時間および速度を再計算する．
3. 2.と同じ通りを走っているが，走行時間が11時台から12時台へ移ったために，再度この条件下で分析を行った結果（左上部）を得て，所要時間および速度を計算する．時間が変化したことにより，所要時間は大きく変化していることがわかる

1.から3.に示すように，新たな区間に入るたびに，バスの系統名，区間の始点と終点である検知点名の組，時間を基にして分析結果を参照し速度を与えている．こうすることで，バスの走行を決定付ける，時間や月，通りなどの条件の下で，実際にかかった走行時間を近似したシミュレーション結果を出すことが出来る．

### 5.3 考察

本研究では，実測データを基に分析を行い，バスの走行を決定付ける要因として，バスの系統，通り，月及び時間帯を考えて，ルール抽出をしてシミュレーションを行った．シミュレーションの際にバスに与える走行速度は，分析の結果得られた，二つの検知点の間の平均値および分散の値を用いた．具体的には，平均値および分散値から，所要時間の取りうる値を正規分布で近似し，そ

の正規分布に従う乱数を生成して得た。シミュレーションの結果では、実際にかかった走行時間を近似した結果を得ることが出来た。

今後の課題としては、バスの走行を決定付ける要因をさらに調べることが挙げられる。本研究では、検知点間に存在するバス停や信号での停車時間を考慮していないが、信号が多い区間では、信号での停車から再加速することによる走行挙動の影響があるかもしれない。バス停での停車時間や信号の切り替わりの時間などは、まとまった資料がない可能性が高いので、実測することによって得ることが考えられる。

また、本研究では、バスの走行速度を決定するために、ログデータから得られた所要時間を正規分布で近似することにより計算したが、ログデータの中には他の数値に比べて正規分布から外れた数値が記録されていることもある。このようなデータを説明するために、さらに調査をする必要がある。

## 第6章 おわりに

マルチエージェントシミュレーションを用いて都市交通を分析するとき、個々の車両をエージェントとして定義し、全体の交通を再現するという手法がとられる。個々の車両を表現するエージェントモデルを構築するためには、都市を走る車両を運者の特徴を考慮してモデル化する必要があり、非常に困難である。

そこで本研究では、都市交通の流れを再現するための第一段階として、路線バスの走行に着目し、路線バスの運行を再現することを目指した。路線バスに注目する理由として、バスはあらかじめ定められた走行経路に従って走行すること、時刻表にあるように定められた時間内で経路を走行することなどから、他の一般的な車両に比べて走行挙動に制約があり、挙動を決定する要因を定めることが容易であると考えられるからである。

本研究では、京都市交通局から提供された運行ログデータを用いて、典型的なバスの走行モデルを構築し、その走行の再現を試みた。本研究を行う上で課題となったのは以下の二点である。

- **実データからの走行モデルの獲得**

京都市交通局から提供された京都市営バスの運行ログデータを基に、典型的な路線バスの走行を再現する走行モデルを獲得した。路線バスを再現したことにより、周辺の交通流の推測や、都市の交通需要の分析に用いるこ

とができる。

- **十分でないログデータからの走行モデルの獲得**

走行モデルの構築に十分でないログデータを基に，バスの走行に影響を与える要因を推測し，走行ルールを獲得した．一年間分のログデータを分析することにより，路線バスの走行に影響を与えると考えられる要因を調べ，走行ルールを抽出した．

これら二点の課題に対する貢献により，都市交通を対象としたマルチエージェントシミュレーションにおいて，典型的な路線バスの走行モデルを獲得することが可能となった．路線バスは，あらかじめ走行する経路や走行時間が定まっており，もしログデータからバスの走行の変化が読み取れば，それを基にして周囲の交通流がどのようなであったかを推測することが出来，都市の交通の理解に役立てることが出来る．

本研究では，信号やバス停での停車時間は，考慮に入れていない．より詳細な走行の再現を目指す際は，各々の信号での停車時間や，バス停での停車時間を調査し，モデルに組み込む必要がある．今後の課題としては，信号での停車時間や旅客の乗降によるバス停での停車時間なども考慮に入れた，各系統ごとのバスのモデルなど，よりミクロなレベルでのモデルを作成することが挙げられる．また，都市の交通を分析するために，路線バス以外の車両を走行させたときの相互作用による影響なども考えていく必要がある．

本研究では，都市交通の再現の一段階として，交通の構成要素の一つである路線バスに注目をして，実際の運行ログデータから典型的な走行ルールを抽出し，エージェントシミュレーションを用いることで，バスの走行を再現した．

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，熱心な支援と適切な指導を行っていただいた石田亨教授に厚く御礼申し上げます．また，日頃より議論していただき，有益な助言を与えてくださいました松原繁夫准教授，服部宏充助教をはじめ，石田・松原研究室の皆様にも心より感謝致します．

## 参考文献

- [1] 中島悠, 椎名宏徳, 服部宏充, 八槇博史, 石田亨: マルチエージェントシステムを用いた避難誘導実験の拡張, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 1954–1961 (2008).
- [2] Espie, S., Saad, F. and Schnetler, B.: Microscopic traffic simulation and driver behavior modeling: the ARCHISIM, *Proceedings of the Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two Continents* (1994).
- [3] Doniec, A., Mandiau, R., Espie, S. and Piechowiak, S.: Dealing with multi-agent coordination by anticipation: application to the traffic simulation at junctions, EMSS '2005 European Modeling Simulation Symposium (2005).
- [4] 飯田克弘, 隅本雄一, 巽義知, 安時亨: VR 技術の適用による合流部付加車線延伸効果の検討, 土木計画学研究・論文集, Vol. 23, pp. 925–932 (2005).
- [5] 大口敬, 飯田克弘: 高速道路サグにおける追従挙動特性解析におけるドライビング・シミュレータ技術の適用性, 交通工学, Vol. 38, pp. 41–50 (2003).
- [6] 吉村忍, 西川紘史, 守安智: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 228–237 (2004).
- [7] 藤井秀樹, 仲間豊, 吉村忍: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発:第二報:歩行者エージェントの実装と歩車相互作用の理論・実測値との比較, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 25, No. 4, pp. 274–280 (2006).