

オンデマンドバスの導入設計シミュレータの開発と評価

Development of the Simulator for the On-demand Bus Introduction

坪内 孝太*¹
Kota Tsubouchi

大和 裕幸*¹
Hiroyuki Yamato

稗方 和夫*²
Kazuo Hiekata

杉本 千佳*¹
Chika Sugimoto

*¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo

*² 東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Engineering
The University of Tokyo

This paper reports the development of the simulator which helps for the introduction of On-demand Bus service. On-demand bus system is a new convenient transportation system that passengers will be transported by the vehicles after they reserve a seat. The design of the introduction of On-demand Bus service is very important for the efficient operation, but there is no established theory because it is a new transportation system. The developed simulator performs well to design the On-demand Bus introduction. The result of the field test in MoriYama City shows the answer from the simulator is realistic and it is useful information for designing efficient On-demand Bus introduction.

1. 序論

オンデマンドバスとは、予約した乗客がいるところのみを効率的に移動するバスで、決められた時刻に決められた経路を運行する路線バスのように、乗客がいらないのに迂回をして移動時間が長くなるという非効率性は生じない。高知県四万十市(旧:中村市)、福島県南相馬市(旧:小高町)などで実用化や実証実験が行われているが、高齢者や主婦の通院や買い物といった時間的に制約の小さい目的の利用に偏り、公共交通機関として発展しきれていない。

本研究ではこれまでにオンデマンドバスのスケジューリングアルゴリズムを開発してきた^[大和 2008]。開発したアルゴリズムは3つの特長を有する。①乗客からの予約が入る度に運行計画を作成するリアルタイム処理方式^[Jaw 1986]を採用しており、②時刻・経路非固定型のデマンド運行に対応し、③ゆとり時間と呼称する Time Window を用い、スケジューリングによる遅延というオンデマンドバスのスケジューリングにおいて特有にみられる遅延が起らないように工夫している。これら3つの特長により、各乗客が自身の発着時刻を予約の時点で知ることができるオンデマンドバスサービスが可能になった^[坪内 2008]。大和らの研究室では2008年度に50箇所を超える自治体から相談を受け、9自治体の導入実験を行っている。

新しく導入した交通機関が効率的に運行されるためには、事前の綿密な導入設計が重要になるが、オンデマンドバスのような新しい交通機関の場合、確立された設計手法は無い。一般的には、知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES^[藤井 2006]のような交通関係シミュレータを用いて、検討する交通政策が既存の交通機関に与える影響をコンピュータ上で計測する事例が多い。ただし、こういった既存のシミュレータは複雑な操作を要求され、技術者や研究者が取り扱う類のソフトウェアである。コンピュータの専門知識を持たない自治体の担当者でも取り扱えるシミュレータの開発が求められている。

本稿は、開発したオンデマンドバスシステムについて簡潔にまとめ、オンデマンドバスの導入設計に役立つシミュレータの開発ならびにその評価について述べる。

開発したシミュレータは、シミュレーションの知識を持たない地方自治体の担当者と、地域に土地勘のないシステム担当者がネットワークを通じて協力して行う CSCW (Computer-Supported Cooperative Work)を実現しているという特徴を有する。シミュレータの評価は滋賀県守山市の実証実験の結果を用いて行う。シミュレーションで得られた挙動と実証実験で得られた挙動との間に生じる差異を調べることにより行う。

2. 開発したオンデマンドバスの概要

開発したオンデマンドバスの概要について Fig.1 に示す。まず、乗客は Web や電話からデマンド情報(何時に・どこから・どこまで移動したいか?という情報)を計算システムに伝える。このとき、デマンド情報は予約システムを介して伝達される。

乗客のデマンド情報が計算システムに伝わると、計算システムはこの乗客よりも前に予約した他の乗客のデマンド情報と、新しい乗客のデマンド情報を合わせて運行計画を更新する。更新が成功すると、再度予約システムを介して乗客にスケジュールが伝えられる。また、この時更新された新しい運行計画はオンデマンドバスに搭載されている車載システムに伝達され、運転手は常に最新の運行スケジュールを把握することが出来る。乗客はシステムから通知された時刻に指定された待ち合わせ場所で待機する。これによりサービスが成立する。

バスの位置は GPS を用いて常に取得する。乗客の乗降状況や運行状況については、運転手が車載システムを操作して、1度の発着イベント毎にデータベースに蓄積される。その際に、バスが実際の移動でかかった時間を保存し、データベースに特殊な形式で保存される。これをマイニングすることでデータベースは実移動にかかる時間を導出でき、そのことが移動時間の正確な見積りに貢献する。また、蓄積された発着イベントや GPS により取得した現在位置を地図上に表示することで、乗客がインターネットを介し、運行状況を確認することができる。

3. シミュレータの開発

3.1 シミュレーション実験の概要

シミュレーションを行う目的は地域に最適な車両の種類と導入台数を求めることである。コンピュータ上で、仮想的な実証実験を行う。Fig.2 にシミュレーションの概要を示す。

連絡先: 坪内孝太, 東京大学大学院新領域創成科学科人間環境学専攻, 〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5 環境棟 283 号室, tsubouchi@is.k.u-tokyo.ac.jp

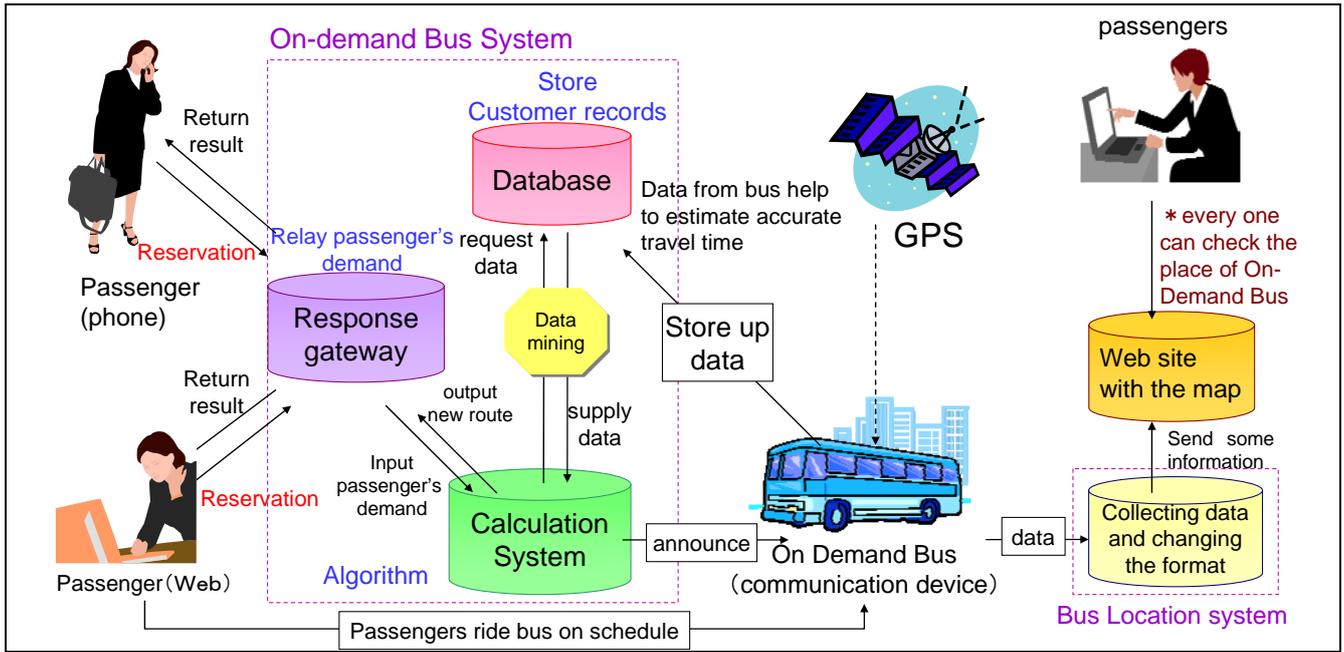


Fig. 1 Overview of the new On-Demand Bus system

シミュレーションを行う際、インプットデータ(発生需要量, 乗降場所)を作成するノウハウが自治体の担当者にはなく, 一方システム管理者には導入検討地域の基本的な知識がない. 本シミュレーションでは, まず土地勘を有する地域の担当者が①時間帯毎の発生需要量, ②需要パターン, ③乗降位置の情報を入力を Web を通じて行う. 次に, シミュレーションサーバ上に自動的に生成されるインプットデータをシステム管理者がシミュレータにセットし, 諸条件を変えながらシミュレーションを行い, 最適な導入台数を求めることができる.

一般的な交通シミュレータはシミュレーションを行うためのデータ収集およびデータのインプットに時間や専門知識が求められるという課題がある. 本研究で開発したシミュレータは, Web を用いた CSCW によりこの問題を緩和していることに特徴がある. 自治体担当者がシミュレーションの諸条件を入力する Web ページは, 地図上での操作を前提とした直感的に理解しやすいインターフェイスとなっている.

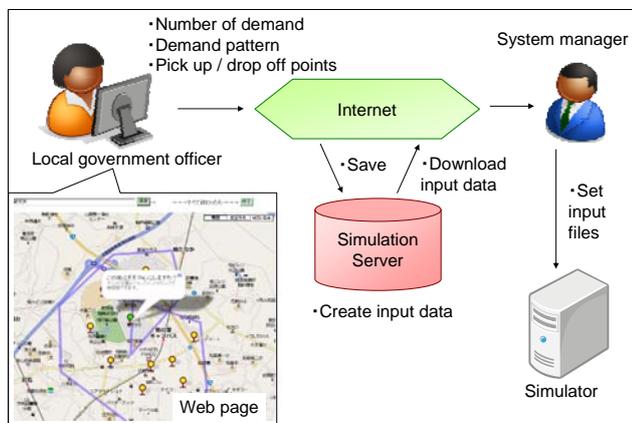


Fig.2 Simulation overview

3.2 シミュレータの概要

シミュレーションを始める前にシミュレータは, xml 形式の発生乗客データおよび地域データを読み込み, コンピュータ上に実験環境を生成する. 発生乗客データは①出発地, ②目的地, ③希望到着時刻, ④予約時刻といった情報からなり, ①出発地, ②目的地, ③希望到着時刻の分布は地方自治体の担当者が入力した発生パターンと一致している. ④予約時刻は, 希望到着時刻の 30 分前から 3 時間前の幅でランダムに決定する. Fig.3 にその仕組みを示す.

シミュレーションが始まるとコンピュータ内の時間が進行する. ここで予約時刻になると同コンピュータ内の予約システムに予約を行う. その結果, 希望到着時刻に最も近い予約(到着予定時刻, 車両番号)が返されるが, 希望到着時刻と通知される到着予定時刻が±20 分以上の誤差があった場合, 予約は不成立となる.

シミュレータ内には車両エージェントがオンデマンドバス運行を行っており, 動的に変更する予約情報に応じて乗客の乗降を行う. この際, 単位時間毎に車両の乗車人数等を記録する.

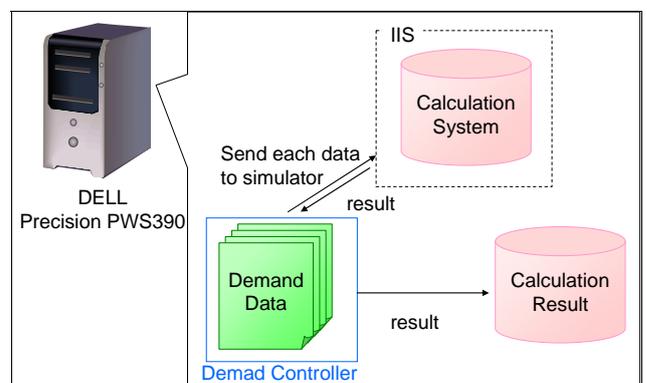


Fig.3 Simulator architecture

4. シミュレータの評価

4.1 シミュレータの評価手法

本稿の目的は、開発したシミュレータの評価にある。実証実験で得られた実験結果と、実験の前に行ったシミュレーション実験の結果を比べ、本稿で提案するシミュレータの有効性を評価する。

対象地域はオンデマンドバス導入を検討する滋賀県守山市とし、まず、実証実験を始める前に地方自治体の担当者(滋賀県守山市役所職員)が、開発した Web ページを通じて需要発生パターンと乗降位置情報を作成し、そこで得られたインプットファイルを用いてシミュレーションを行う。

次に、実際に約 44 日間の実証実験を行い、実際の需要発生パターンを取得する。なお、実証実験で利用する乗降位置は、シミュレーションで用いたものと同じ場所を利用する。

最後に、得られた需要発生パターンをコンピュータ上に再現し、実際の移動履歴から最適台数とその時の評価値を求める。シミュレーション結果と実証実験の再現結果を比較することでシミュレータの妥当性を検証することができる。

4.2 守山市実証実験の概要

守山市実証実験は人口密度の小さな地方都市において開発したオンデマンドバスサービスの評価を行うことを目的に、4 台の車両を用いて 44 日間サービスを行った。4 台の車両のうち、1 台が 8 人乗りのジャンボタクシー、3 台が 4 人乗りのタクシーである。

Table 1 に実験の概要を示す。期間を通じて 1296 件の予約が成立し、1793 人の乗客が利用した。

Table 1 Experiment summary

	Overview
Area	Moriyama City
Area (km ²)	54.81
Population	75,256
Number of cars	46,371
Character	low density of persons
Date, term	11.12-12.25 (2008)
Service time	9:00 - 17:00
Passengers	Anyone
Fare	Nothing
# of vehicle	4 vehicles
Vehicle	Jumbo taxi 1, Taxi 3
Gross # of passengers	1,793 in total term
Gross # of reservation	1,296 in total term

Fig.4 には実験期間を通じて得られた守山市実証実験のトリップパターンの状況を示す。線の太さは同じ発着地点の組合せを利用した人数を示す。守山市の移動は南北の長距離トリップ(片道 45 分以上)、市街地付近から駅への短距離トリップ(片道 15 分以内)、そしてどちらにも属さない中距離トリップの 3 種類に大分される。実証実験では短距離トリップ、中距離トリップ、長距離トリップの順で量が多かった。

長距離トリップが増えると、需要の多い市街地付近で利用できる車両数が減るため、不成立が増え、非効率となる。

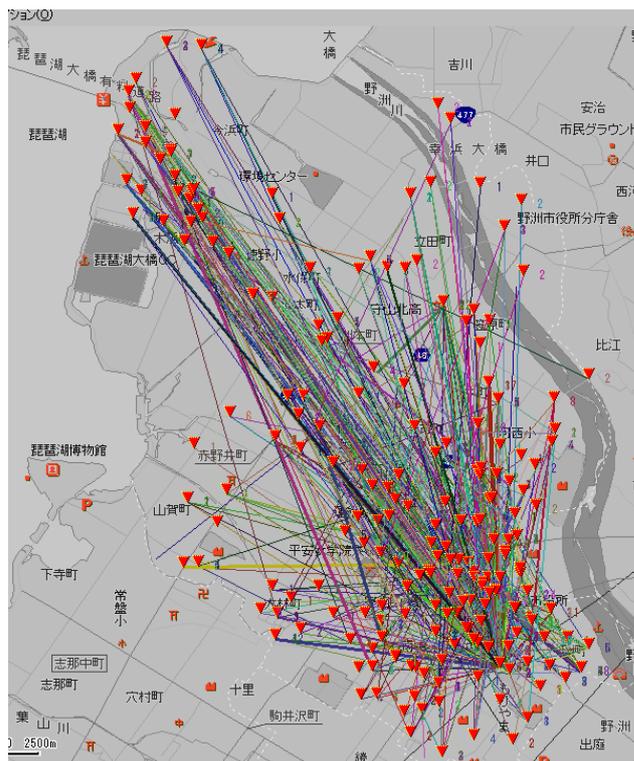


Fig.4 Locus of total movement

4.3 シミュレータの性能評価

シミュレータの性能評価の結果を Fig.5 と Fig.6, Fig.7 に示す。性能評価には実証実験で得られた需要パターンから導出した 64 人をそれぞれ 2 台、3 台、4 台で運んだケースを示す。Fig.5 には希望到着時刻の 20 分以内に予約が見つかった数を表す成立率を、Fig.6 には成立した乗客がずらされた時間の平均値を表す平均顧客不満足度(分)を、Fig.7 には車両エージェントが走行した時間を表す「延べ車両走行時間(分)」を示した。各ケースのシミュレーションは確率的な要素を排除する目的で、10 回のシミュレーションの平均値とした。

Fig.5 は成立率の評価であるが、一般傾向として、車両数を大きくするほど成立率は高くなり、また値の分散も小さくなっている。シミュレーション実験と実証実験の値の結果を比較すると、シミュレーションの結果は実際に比べてやや高い傾向が見られるが、その誤差はせいぜい 5% 程度にとどまり、ほぼ正確な動向を示していることが分かる。すなわち、成立率だけで判断すると本稿で開発したシミュレーションは実際の走行状況を推測する、あるいは再現するのに有効であることが分かる。

Fig.6 は、顧客不満足度(Service Level)の評価であるが、一般的な傾向として台数が増えるにつれて値が小さくなる傾向が分かり、乗客の希望に近い乗車ができていることが分かる。実証実験とシミュレーション実験との比較では、シミュレーション実験の方が平均的に低い不満足度を示すが、差異は 2 分程度と小さく、顧客不満足度という観点からも本シミュレーションは、うまく現状を示していることが確認できた。

Fig.7 は、車両延べ移動時間の比較を示す。図中の数字は 2 台、3 台、4 台と車両数を変化させた各ケースについてシミュレーション実験を 10 回繰り返して行っており、その平均値である。シミュレーション結果の方が実際の実験データを用いた時よりも短い走行時間となっていることが分かる。誤差は 10% 程度にとどまっている。

シミュレータの性能評価をまとめると、本ケースにおいてシミュレータは、実際の運行データに比べて、走行距離が 10%程度短く、かつ成立率が 5%程度高くなるという傾向が見られた。顧客の不満足度についてはシミュレーション実験の結果と実証実験の結果とでは差異は出なかった。

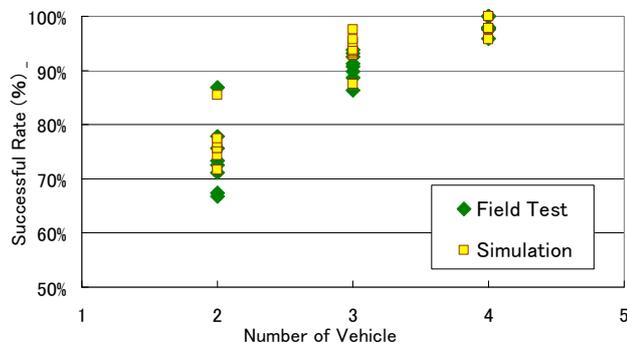


Fig.5 Successful rate in field test and the simulation

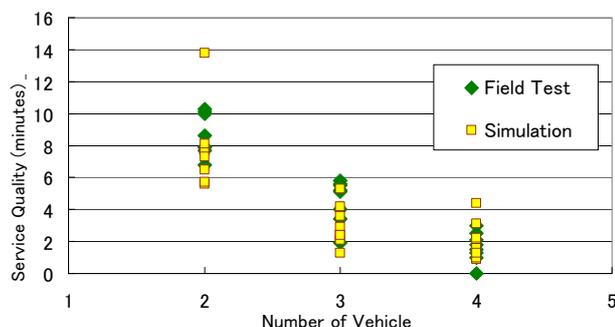


Fig.6 Service level in field test and the simulation

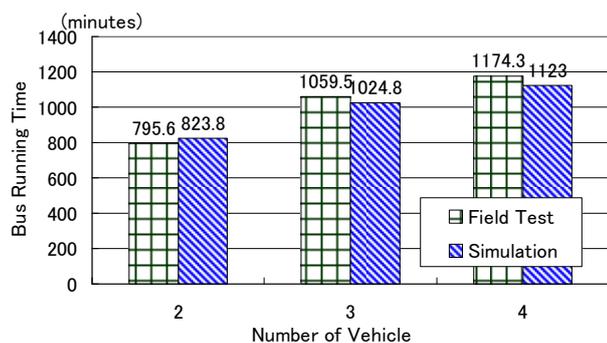


Fig.7 Total traveling time of bus in field test and the simulation

5. 結言

オンデマンドバスの導入を検討する際に有効となる設計シミュレータを開発し、滋賀県守山市の実証実験においてその有効性を検証した。

本シミュレーションの特徴は、CSCW の考え方を採用し、地方自治体の担当者とシステム管理者が互いの得意分野を活かしながら、インターネットを通じて行えるシミュレーションであることが挙げられる。具体的には地方自治体の担当者が Web ページ

から地域のトリップパターンやトリップ数、乗降ポイントやエリアの定義を行い、生成されたファイルを使ってシステム管理者がシミュレーションを行うというものである。

性能評価の目的でシミュレーションが示す挙動と実証実験で実際に得られた挙動とを比較したところ、両者は似た挙動を示した。本ケースにおいてシミュレータは走行距離が 10%程度短く、成立率が 5%程度高くなるという結果が得られたが、この誤差は十分に許容できる範囲で、本シミュレータが需要と台数の挙動を推測するのに十分現実的で有効な手法であることを示した。

今後の課題として、発生需要パターンをより正確に予測できる仕組みの開発が挙げられる。現状のシステムでは、オンデマンドバス利用者の需要数や需要パターンを担当者が予測することでシミュレーションを行うことができる。ところが、担当者の主観的な認識の差異によって生成される入力データの傾向にも差異が生じること、あるいは推測できない担当者の存在といった課題が考えられる。そこで、現状で自治体担当者が保持している統計情報や全国パーソントリップ調査結果などを活用して、より精度の高いトリップパターンが自動生成される技術開発を行いたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、JST-CREST および国土交通省 先導的都市環境形成促進事業費補助金の資金をいただきました。実証実験をするにあたり、守山市役所様のご助力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [大和 2008] 大和裕幸, 坪内孝太, 稗方和夫: オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価, 運輸政策研究, Vol.10 No.4, pp002-010, 2008.
- [Jaw 1986] Jaw, J., Odoni, A., Psaraftis, H., and Wilson, N: Heuristic Algorithm for the Multi-Vehicle Advance Request Dial-A-Ride Problem With Time Windows, Transpn. Res.-B Vol.20B. No.3, pp.243-257, 1986.
- [坪内 2008] 坪内孝太, 大和裕幸, 稗方和夫: オンデマンドバスシステムの実証実験による評価, 運輸政策研究, Vol.10 No.4, pp011-020, 2008.
- [藤井 2006] 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, シミュレーション Vol. 25, No.4, pp.274-280, 2006.