

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760356

研究課題名(和文) 均衡モデルに基づく階層型デマンドバスのマイクロシミュレーション

研究課題名(英文) Microscopic traffic simulation of a hierarchical demand responsive bus system based on equilibrium model

研究代表者

赤嶺 有平 (AKAMINE, Yuhei)

琉球大学・工学部・助教

研究者番号：00433095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地方部都市圏では、公共交通の利用促進のため利便性の高い交通機関が求められている。本研究では、複数レベルのデマンドバスを乗り継ぐ階層型デマンドバスシステムを提案し、実際の都市圏をモデルとしてシミュレーションによる評価実験を行った。提案システムは、既存の路線バスと同程度の旅行時間で移動可能で、かつ歩行距離が大幅に削減されると推定された。さらに、デマンドバスを含む交通網の定量的評価を行うための動的交通シミュレータの開発を行い、人口100万人規模の中核地方都市圏モデルを実用的な速度で実行可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed hierarchical demand responsive bus system connecting multilevel demand responsive bus and evaluated the system by traffic simulation for an actual city model. The simulation result showed that the trip time of our system is nearly equal to the existing fixed route buses and the total distance of walk is considerably reduced. We also developed a dynamic microscopic traffic simulator for quantitative evaluation of traffic systems including demand responsive buses. The simulator can complete a single simulation of medium-sized urban area in practical time.

研究分野：交通シミュレーション

キーワード：交通シミュレーション ミクロシミュレーション デマンドバス

## 1. 研究開始当初の背景

鉄道や地下鉄等の軌道交通が整備されていない地方都市圏においては、自家用車が主な交通手段となっているため通勤時間帯は恒常的に渋滞が発生している。公共交通へのモーダルシフトが必要とされており、そのためには利便性が高い交通機関の提供が重要である。

デマンドバスは、利用者の要望に応じて経路を柔軟に変更しつつ多数の利用者が乗り合わせる事で経済的に運行できるとして注目されている運行形態である。しかし、経路計画の計算時間の問題から比較的人口規模の大きい都市圏での運行は難しい[1]。そのような都市圏においても運行可能な新たな交通システムが望まれる。

一方、新しい交通システムは、その評価手段としてシミュレーション実験が有効である。従って、交通システムの提案にはシミュレータの構築が不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究は、中心部の交通渋滞が深刻な中規模都市圏（地方部中心都市圏を想定）を対象として実際の交通需要に基づきデマンドバスを含む交通網の定量的評価を行うための交通シミュレータの開発を第一の目的とする。現況の交通需要に対して架空の交通システムを適用した場合のサービスレベル（所要時間、利便性など）の推定が主目的であるため、一般的な4段階推定法ではなく、分担・配分交通量のみモデル化し、利用者の移動手段及び経路を推定する。これは、静的推定と呼ばれる手法に分類され、特定の期間内（通常は24時間）に各交差点間を通行する交通量及び所要時間を数値計算により得る。同手法を用いる事で2地点間の移動所要時間を推定できるが、以下の問題がある。

- 時系列変化の推定が困難（手法は存在する）
- 複数交差点にまたがるような激しい渋滞が発生する場合推定精度が低下する
- 全ての利用者（ここでは自家用車を含む交通網の利用者を意味する）が常に同じ経路を移動する事が前提のため交通状況に応じた経路や手段の変更がモデル化できない

そこで、本研究では、個々の車両の振る舞いをモデル化し全ての車両の相互作用の結果として所要時間等を推定する動的シミュレーションモデル（マイクロシミュレーションとも呼ばれる）の開発を行う。動的シミュレーションは、個々の車両の振る舞いを全て計算する必要があるため計算時間が長くなる問題があるため並列化等による高速化が必要である。

第二の目的は、複数レベルのデマンドバスを乗り継ぐ階層型デマンドを提案し、実際の都市圏をモデルとしてシミュレーションによる仮想社会実験を行う事である。

## 3. 研究の方法

動的シミュレーションを実施するためのソフトウェアは複数存在するが、本研究では、1)デマンドバスを含む新しい交通システムへ対応する必要がある、2)対象とする交通網が一般的な動的シミュレーションで想定される地域に対して大きいためモデルの簡略化や並列処理による高速化を図る必要がある、3)これまでに自家用車を対象としたシミュレータを開発済みである、の3点より(3)のシミュレータをベースとして新規開発した。(2)の計算時間の問題に対しては、車両や交差点モデルを簡略化すると共に、マルチコアCPUを対象とした並列化を行った。

デマンドバスの運行には、利用者の要求に応じた適切な経路計画が必要である。デマンドバスの経路計画問題は、DARP(Dial A Ride Problem)とよばれ以前より多くの研究が行われている。しかし、DARPはNP困難な問題（多項式時間で解く方法が見つかりそうもない問題）とされており、利用者が一定数を超えると実用的な時間内で解く事ができない。そこで本研究では、近距離移動と長距離移動の複数レベルのデマンドバスを乗り継ぐ階層型デマンドバスを提案、モデル化し、動的シミュレーションによる導入効果の評価実験を行った。

## 4. 研究成果

(1) 中規模都市圏を対象とした動的交通シミュレータの開発

人口100万人規模の中核地方都市圏モデルを実用的な速度で適用可能な動的交通シミュレータ(MuTRAMS:Multimodal Traffic Microscopic Simulator)を開発した。MuTRAMSは、静的推定と動的シミュレーションの2層からなる。

### ①交通量の静的推定

現時点では、OD間旅行時間(2地点間の所要時間)推定を主目的とするため、4段階推定法における、分担交通量(どの交通手段を利用するのか)及び配分交通量(どのような経路で移動するのか)の推定が可能となっている。生成、発生・集中、分布の各交通量については、パーソントリップ調査等の実測値を入力する。本シミュレータは、デマンドバス等の新交通システムの評価を目的とするため、現在の交通需要に対する2点間所要時間が主に期待される出力である。

分担交通量については、スーパーネットワーク(利用可能な全ての交通手段の経路をグラフ表現したもの)を用いて旅行時間が最短となる交通手段を選択する仕様となっている。この点については、将来の改善が必要とされる。

配分交通量は、利用者均衡配分をFrank-Wolfe法を解く事で推定する。スーパーネットワークを用いるため分担及び配分

交通量が同時に算出される。また、これらの計算はスレッド並列化されているためマルチコア CPU 上で高速に動作する。ノートパソコン(2.6GHz Intel Core i7, 4 コア)において沖縄県中南部の交通需要(約 200 万トリップ)が数秒程度で処理可能である。

## ②動的交通シミュレーション

MuTRAMS は、静的推定により求められた利用者の旅行計画(交通手段及び経路)に基づき個々の車両と利用者をエージェントとするマルチエージェントシミュレーションを行う。

動的交通シミュレータを構築する際に問題となるのが信号交差点のモデル化である。幹線道路の大部分の交差点には信号機が設置されており時分割で路線間の接続が変化する。信号機は、サイクル長、スプリット(赤信号比)、オフセット(他の信号機とのタイミングの差)の3つのパラメータで制御されており、設定により交通渋滞の発生箇所・規模が大きく変化する。さらに、右左折専用信号機や時差式信号機等、様々な方式が混在するため、実世界のすべての信号機を正確に再現するのは非常に困難である。

本研究では、「全車両が一時停止し、右左折直進に関係なく進行先の路線が空いていれば自由に流入できる交差点モデル」を MuTRAMS の交差点モデルとして採用した。この方式では、信号の切り替えタイミングに渋滞状況が影響されることがない。ただし、全ての車両を一定時間交差点で停止させた場合、渋滞時に前方車両の一時停止の影響を受けて後続車両の待ち時間が過剰になってしまうため、遅れ時間モデルを新たに提案した。遅れ時間モデルは、前方車両の待ち時間の影響を排除するため、エッジ(交差点間の道路)上に存在している時間を計測し、待ち時間から差し引く。同手法により、交差点毎の信号パラメータを設定することなく、高い現況再現性を実現できることを確認した。パーソントリップ(PT)調査による実際の旅行時間と MuTRAMS による推定値の相関を図 1 に示す。

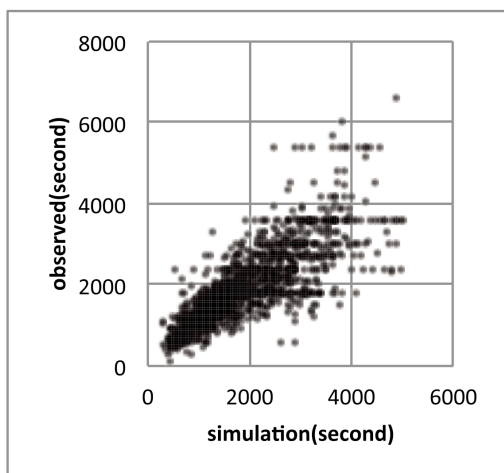


図 1 ピーク時間帯(7:30-8:30)における

## OD 旅行時間の推定値と観測値の相関

また、動的交通シミュレーションのメリットとして、時系列の評価が容易な点が上げられる。MuTRAMS は、時間帯別の平均旅行時間の再現性についても良好な結果が得られた(図 2) [2]。

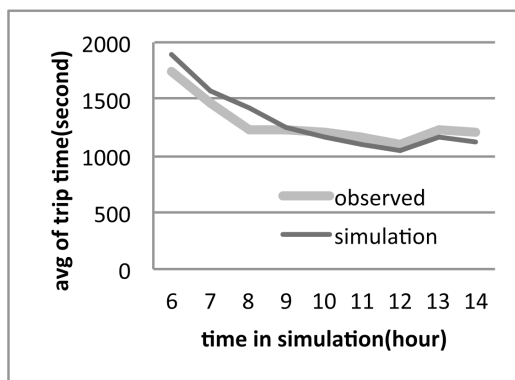


図 2 時間帯別平均旅行時間の調査結果と推定値の比較

## (2) 中規模都市圏を対象とした階層型デマンドバス

本研究では、人口 100 万人規模の地方都市圏での運行を想定した、階層型デマンドバスを提案し、MuTRAMS による評価実験を行った[3]。提案システムは、デマンドバスと大型車両の連携によりアクセス性および輸送効率を高めることに焦点をあてている。一般に、中規模以上の都市圏においては、事業所が集中するエリア(都心)、人口が集中するエリア(住宅地)、人口密度の低いエリア(郊外)のような典型的な分布パターンが観測される。提案手法は、人口が密集するエリアで複数の小型デマンドバスにより乗客を乗り継ぎ地点に集約し、その後、大型バスを急行運転し目的地付近まで短時間で輸送する。事業所が集中するエリアは公共交通が充実していることが多いため他の公共交通に乗り換えて最終目的地まで移動する。短距離の移動については通常のデマンドバスまたは路線バスにより移動する(図 3)。

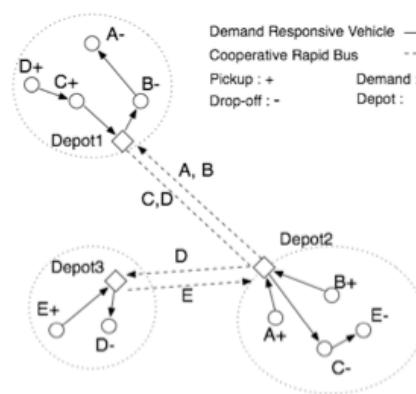


図 3 提案システムの概要

シミュレーション実験では、既存の路線バ

スと同程度の旅行時間かつ歩行距離が大幅に削減されることが示された。同手法の特徴は、経路計画の計算時間にある。背景で述べたようにデマンドバスの経路計画は NP 困難とされているため、利用者数の増加に伴い計算時間が爆発的に増える。実験では、PT 調査による沖縄県中南部におけるバス需要(約 8.5 万トリップ)に対して ADARTW 法[4]により経路計画を試みたところ、実用的な時間内(今回は 4 時間とした)に終わる事ができなかった。提案手法は、1 時間程度で計算可能である。

#### <引用文献>

- [1] Paepe, W.E., Lenstra, J.K., Sgall, J., et al.: Computer-Aided Complexity Classification of Dial-a-Ride Problems, *INFORMS Journal on Computing*, Vol.16, No.2, pp.120-132 (2004).
- [2] 赤嶺有平,遠藤聡志,上原和樹,根路銘もえ子:時間的交通分散を目指した旅行計画提示手法の提案, *情報処理学会論文誌*, Vol. 55, No. 1, pp. 438-447 (2014).
- [3] 上原和樹,赤嶺有平,當間愛晃,根路銘もえ子,遠藤聡志:デマンドバスと大型車両による協調型交通システムの提案, *情報処理学会論文誌*, Vol. 56, No. 1, pp. 46-56 (2015).
- [4] Jaw, J.J., Odoni, A.R., Psaraftis H.N. and Wilson, N.H.M.: A Heuristic Algorithm for The Multi-Vehicle Advance Request Dial-a-Ride Problem with Time Windows, *Transportation Research Part B*, Vol.20, No.3, pp.243-257 (1986).

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文] (計 2 件)

- ①上原和樹,赤嶺有平,當間愛晃,根路銘もえ子,遠藤聡志:デマンドバスと大型車両による協調型交通システムの提案, *情報処理学会論文誌*, 査読有, Vol. 56, No. 1, 2015, pp. 46-56, <http://id.nii.ac.jp/1001/00112698/>
- ②赤嶺有平,遠藤聡志,上原和樹,根路銘もえ子:時間的交通分散を目指した旅行計画提示手法の提案, *情報処理学会論文誌*, 査読有, Vol. 55, No. 1, 2014, pp. 438-447, <http://id.nii.ac.jp/1001/00098355/>

##### [学会発表] (計 8 件)

- ① 上原和樹, 赤嶺有平, 當間愛晃, 根路銘もえ子, 遠藤聡志, デマンドバスを用いた協調型交通システムにおける経路計画手法の検討, 第 7 3 回 MBL・第 5 9 回 ITS 合同研究発表会, 2014 年 11 月 20-21 日, 福岡大学 (福岡県福岡市)
- ② A Proposal of Transport System Connecting Demand Responsive Bus with Mss Transit, Kazuki Uehara, Yuhei Akamine, Naruaki Toma, Moeko Nerome, Satoshi Endo, 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics Taiwan (ICCE-TW), 2014 年 5 月 26-28 日, 台北市 (台湾)
- ③ デマンドバスを対象としたマイクロ交通シミュレータの開発, 與那嶺貴雄, 赤嶺有平, 上原和樹, 根路銘もえ子, 遠藤聡志, 第 13 回情報科学フォーラム (FIT2014), 2014 年 9 月 3-5 日, 筑波大学 (茨城県つくば市)
- ④ 中規模都市を対象とした集約型デマンドバスの経路計画手法の提案, 新垣隆伍, 赤嶺有平, 上原和樹, 遠藤聡志, 根路銘もえ子, 第 13 回情報科学フォーラム (FIT2014), 2014 年 9 月 3-5 日, 筑波大学 (茨城県つくば市)
- ⑤ ミクロ交通シミュレーションにおける信号付き交差点の簡略化モデルの提案, 與那嶺貴雄, 赤嶺有平, 上原和樹, 遠藤聡志, 根路銘もえ子, 第 1 2 回情報科学フォーラム (FIT2013), 2013 年 9 月 4-6 日, 鳥取大学 (鳥取県鳥取市)
- ⑥ 上原和樹, 赤嶺有平, 遠藤聡志, 根路銘もえ子, 時間的交通分散及び交通情報に基づく経路計画による渋滞緩和効果の検証, 第 54 回高度交通システム研究発表会, 2013 年 9 月 2 日, 電気学会本部 (東京都千代田区)

##### [図書] (計 0 件)

##### [産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

##### [その他]

なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

赤嶺有平 (AKAMINE, Yuhei)  
琉球大学・工学部・助教  
研究者番号: 00433095