

## 協調型デマンドバスの有効性について

原野貴裕, 石川 孝

日本工業大学大学院 工学研究科情報工学専攻

本論文は、担当地域を決めて境界で乗客の引き継ぎを行なう協調型デマンドバスの有効性についての実験結果について述べる。協調型デマンドバスは単位時間に発生する乗車要求数が比較的少ない場合、客への平均到着時間が短くでき、境界で乗客を引き継ぐ予想時刻に間に合うために、全地域を同数のデマンドバスが巡回する場合に比べて客の要求完了時間が短くなると予測される。協調型デマンドバスの有効性の評価は、単位時間に発生する乗車要求数を変化させ、小・中・大都市でデマンドバス運行時の要求完了時間が短いかを時間効率として実験を行なう。実験の結果、協調型デマンドバスは各地域の乗車要求数が比較的少ない場合、大都市でも同数のデマンドバスより時間効率がよくするのに有効である。

### On the Validity of Cooperated Demand Bus

Takahiro Harano, Takashi Ishikawa

Nippon Institute of Technology graduate school

Engineering graduate course information engineering speciality

This paper describes the experiment result on the validity of cooperated demand bus which determines the area in its duty and takes over a passenger on a boundary. When cooperated demand bus has comparatively few entrainment demands generated at unit time, in order that the average arrival time to a visitor may do at the anticipation time which is made short and succeeds a passenger on a boundary, compared with the case where the demand bus of the same number patrols all areas, a visitor's completion time of a demand is predicted to become short. Evaluation of the validity of cooperated demand bus changes the number of entrainment demands generated at unit time, and experiments by making into time efficiency whether for the completion time of a demand at the time of demand bus operation to be short in smallness, inside, and a big city. As a result of an experiment, cooperated demand bus is more effective in time efficiency receiving than the demand bus of the same number also in the larger cities, when there are comparatively few entrainment demands of an every place region.

#### 1. はじめに

協調型デマンドバスは、複数のデマンドバスに担当地域を割り当て、地域をまたがって移動する客には、その地域の境界で乗客の引き継ぎを行なう。複数のデマンドバスの運行は、各々が他のバスを無視して動くことにより同じ客に向かうこと、広い地域になるとバスの移動時間の増加が発生する。デマンドバスは、客の増加や運行規模が広がると移動時間が長い客の発生により、他の客にも影響を与え、待ち・乗車時間を増加させる。

協調型デマンドバスは単位時間に発生する乗車要求数が比較的少ない場合、客への平均到着時間が短

くでき、境界で乗客を引き継ぐ予想時刻に間に合うために、全地域を同数のデマンドバスが巡回する場合に比べて客の要求完了時間が短くなると予測される。本研究の目的は、協調型デマンドバスが有効である条件を明らかにすることである。

以降、2章ではデマンドバス問題について検討し、関連研究について述べる。3章で協調型デマンドバスを説明する。4章でこのシミュレーションによる評価について述べ、5章で実験の結果、6章は考察を述べる。7章において研究の成果と今後の課題を述べる。

#### 2. デマンドバス問題

デマンドバス問題は、客の要求に対する車両の割当てとバスの運行経路を決める問題である。デマンドバスは、客の要求の増加により要求の競合が発生し、待ち・乗車時間を増やす。また、複数台の運行は、どのバスが向うかにより待ち時間が変わってしまう。

(1) デマンドバスの定義

デマンドバスは、各々がいくつかのデマンドを持ち、それらを達成する最適な経路を計画して運行する。デマンドバスの移動は、動的スケジューリング(近い要求順)とする。乗車要求の配分方式は、乗車要求が発生した時点で運行しているバスのうち最も適しているデマンドバスに配分する。

デマンドバスは、乗車要求が少ないとき、客の所へ到着する時間が短くなるため、路線バス方式より客の待ち時間を減らすことができる。

(2) 問題の数学的定義

本研究のデマンドバス問題は、乗車要求がリアルタイムに発生し、格子状の道路の都市で複数のデマンドバスが都市を分担して、境界で乗り換えの引き継ぎにより運行経路を決める問題とする。

都市は、格子状の道路として交点を(x,y)座標で表す。複数のデマンドバスによる都市の分担は均等大きさの地域とする。

乗車要求  $\{1,2,3,\dots,n\}$  は、客が乗降する場所と同一視する(図1)。単位時間に発生する乗車要求数を乗車要求頻度[demand/h]とする。乗車要求の発生はポアソン分布に従う(1)。また、要求・目的地の位置は一樣にランダムに決定する(2)。お客が乗車要求を出してから目的地に到着するまでの要求完了時間(3)とし、お客の待ち時間は  $W_i$ 、乗車時間は  $R_i$  とする。

$$f(a) = \lambda^a \times e^{-\lambda} / a! \quad (1)$$

$$\text{Random}(x, y) \quad (2)$$

$$T_d = W_i + R_i \quad (3)$$

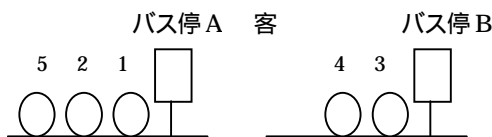


図1 バス停からの乗車要求

(3) 従来の研究

デマンドバスに関する従来の研究は、Dial-a-Ride Problemにおけるスケジューリングアルゴリズムに関するものである。最適化問題にアルゴリズムの研究は、車両に関する制約条件や対象領域の規模条件が行われてきた[1]~[5]。

従来の研究は、台数固定の場合、デマンドの増加や都市サイズ増加に伴い急速に効率が悪化する。また、都市サイズが広がるに従い、台数を増やすことで効率がよくなっている。お客の要求完了時間は、都市全体でシステムを運用するより、いくつかかに分割したほうがよいという結果が得られている。

3. 協調型デマンドバス

(1) 協調型デマンドバスの定義

協調型デマンドバスは、複数のデマンドバスに担当地域を割り当て、地域をまたがって移動する客には、その地域の境界で乗客の引き継ぎを行なう。都市の分担は、各デマンドバスの地域が均等になるように分ける。乗客の引き継ぎは、境界で乗り換えるため境界線で降車し、引き継ぎのバスが到着したら乗車する。

協調型デマンドバスは乗車要求頻度が比較的に少ない場合、客への平均到着時間が短くでき、境界で乗客を引き継ぐ予想時刻に間に合うために、全地域を同数のデマンドバスが巡回する場合に比べて客の要求完了時間を短くすると予測される。

(2) 制御アルゴリズム

デマンドバスの引き継ぎにおける処理を、引き継ぎの依頼を図1に、連絡を受けたバスを図2に示す。引き継ぎを依頼するバスは、担当地域をまたがって移動する客が発生した場合、他のバスに境界へ到着する予想時刻を知らせる。一方、連絡を受けたバスは、他の乗車要求がない場合は、境界上の両デマンドバスの中間点に向かう。その予想時刻より乗客の目的地までの時間が短ければ、先にその要求を完了し、長ければ境界に客を迎えに行く。

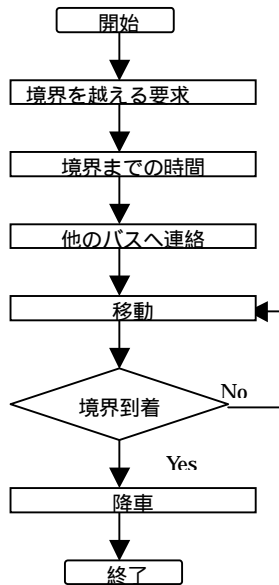


図 2 引き継ぎ依頼

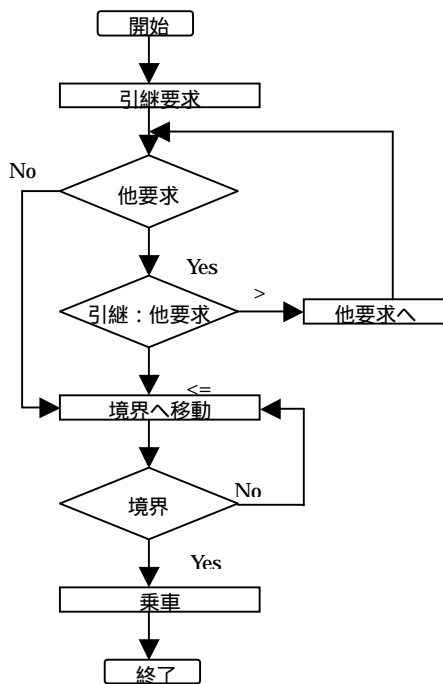


図 3 引き継ぎの連絡を受ける

(3) 引き継ぎ点の決定

複数のデマンドバスが、都市を分割して運行すると、目的地に行けない乗客がいる。例えば、デマンドバスは担当地域を移動するお客に対して送迎する一方、そこを越えるお客には歩いてもらう。これは望ましいとは言えない。デマンドバスは、歩いて行くお客がいないようにする必要がある。

協調型デマンドバスは、客に境界で乗り換えてもらう。例えば、デマンドバスは、担当地域を越えるお客には、歩いてもらうのではなく、他のバスに境界までの予想時刻を連絡し、引き継いでもらうことで、デマンドバスは担当地域を越えることなく、お客を目的地まで送ることができる。

4. シミュレーションによる評価

(1) システム構成

STELLA を使い、デマンドバスおよび協調型デマンドバスが仮想都市を運行するシミュレーションを行う。仮想都市は、全体を正方形で格子状とする(図 3)。

デマンドバスは、各停留所から発生する客の要求を完了する最適な経路を計画して運行(図 3 太線)する。デマンドバスが都市を分担する境界は、各デマンドバスで均等に分ける(図 3 破線)。

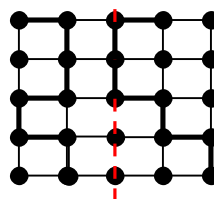


図 4 デマンドバスの移動例

(2) 評価特性

協調型デマンドバスの効率性は、時間効率で評価する。時間効率は、お客の要求がどれだけ早く完了したかを示す。お客の満足度は待ち時間、乗り心地などの要素があるが、これらを数値化するのは難しい。

本研究では、お客の満足度をお客が目的地までいかに早く到着できたかとして考える。ここでは、お客の満足度を時間効率として考え、要求完了時間がどれだけ理想時間に近づいたかを示す。理想時間は、デマンドが発生した後にすぐバスが来て目的地まで最短で到着する時間とする。

(3) デマンドバスの制御

デマンドバスは、客の要求を完了するために動的スケジューリング(近い要求順)で経路を計画し運行する。動的スケジューリングは、近い要求(発生点、目的地)を優先とし、距離が同じの場合、先の要求を優先する。乗車要求の配分方式は、リアルタイム方式とする。

仮想都市上を運行するデマンドバスは、速度一定、

乗車定員の制限なし、乗降には時間がかからないものとする。

#### (4) 協調型デマンドバスの制御

協調型デマンドバスは、複数のデマンドバスに都市を均等に分担し、担当地域をまたがって移動する乗客には境界で引き継ぎを行なう。仮想都市でデマンドバスが都市を分担する境界は、図3の破線のように左右の中心とする。

デマンドバスの引き継ぎは、担当地域を越える乗客が発生した場合、他のバスに境界までの予想時刻を連絡する。境界までの予想時刻の計算は、引き継ぎを依頼するバスが、乗車要求と乗客と引き継ぎの客で近い順に回ったときの境界に到着するまでの時間とする。引き継ぎを依頼するバスは、境界までかかる時間(予想時刻)を他のバスに連絡して移動する。一方、連絡を受けたバスは、現在持つデマンドより時間がかかるなら、先に要求を完了させる。その時間が、現在持つデマンドより短い、またはデマンドがない場合は境界へ向かい、客を引き継ぐ。

#### (5) 実験条件

デマンドバスが運行する都市は、全体を正方形の仮想都市とする。この都市は、格子状の道路で各交差点にバス停留所があるものとする。また、交通渋滞、事故、信号は存在しないものとする。

仮想都市での乗車要求頻度[demand/h]は、単位時間に発生する乗車要求数とする。乗車要求の発生は、ポアソン分布に従う。乗車要求地・目的地は、各停留所から一様にランダムに決定する。

デマンドバスの初期位置は、単体の場合は左端、複数の場合は両上端とする。デマンドバスの運行時間は300分を1日として行なう。デマンドバスの運用方式は、デマンドバス1台、2台、協調型デマンドバス2台とする。協調型デマンドバスでの境界線は、左右の中心とする。

#### (6) 実験方法

協調型デマンドバスの評価は、乗車要求発生頻度、都市のサイズの変化による、デマンドバス1台、2台、協調型2台の時間効率を調べる。仮想都市のサイズは、小を5x3(図5)、中を5x5(図6)、大を7x5(図7)とする。

デマンドバスは、動的スケジューリングで運行する。2台のデマンドバスは、仮想都市の全地域を運行する。

協調型デマンドバスは、各デマンドバスが担当地域を持ち、そこを越えることはできず、乗客の要求が越える場合、境界で引き継ぎを行なう。

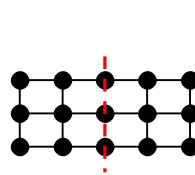


図5 5x3

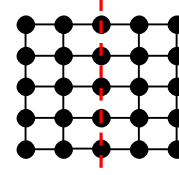


図6 5x5

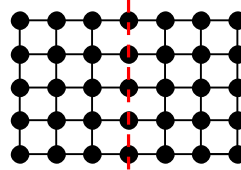


図7 7x5

## 5. 実験結果

小都市で乗車要求頻度を变化させたときの時間効率の変化を図8に示す。協調型デマンドバスは、乗車要求頻度が20~130の間、同数のデマンドバスより時間効率がよいが、それ以上に乗車要求頻度が増加すると悪くなる。

中都市で乗車要求頻度を变化させたときの時間効率の変化を図9に示す。デマンドバス2台は、小都市のデマンドバス2台より時間効率の悪化が目立つ。協調型デマンドバスは、時間効率の悪化を抑えている。大都市で乗車要求頻度を变化させたときの時間効率の変化を図10に示す。大都市になるとデマンドバス1, 2台は時間効率の悪化が早くなる。協調型デマンドバスは、同数のデマンドバスより時間効率がよいが、乗車要求頻度が150以上増加すると悪くなる。

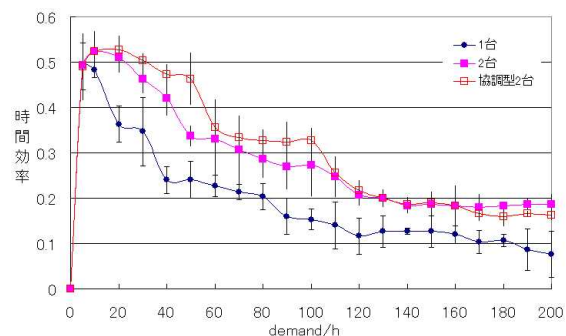


図8 小都市の時間効率

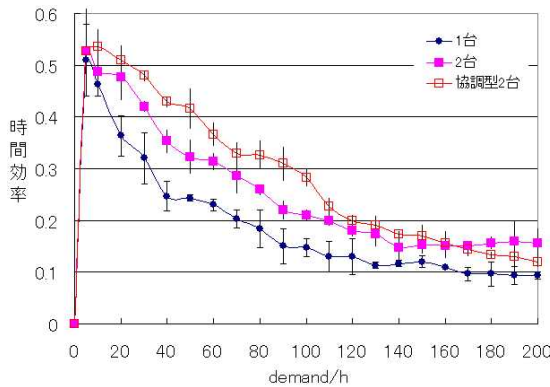


図 9 中都市の時間効率

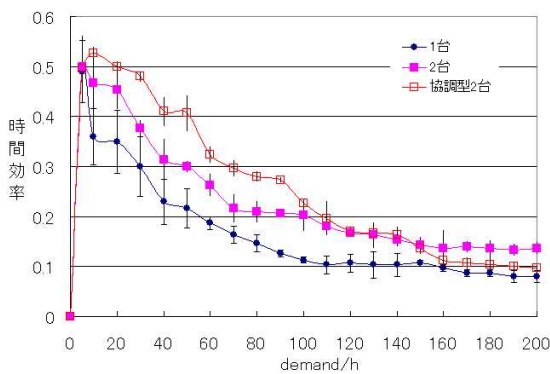


図 10 大都市の時間効率

## 6. 考察

図 8~10 で、デマンドバスは乗車要求頻度の増加に従い、客の要求の競合が起こり時間効率を悪くする。デマンドバスは、台数の増加により時間効率がよくなるが、乗車要求数が過度に増えてくると悪くなる。これは、台数を増やすことで客同士の競合が減るが、客の増加により再び競合が発生することで生じる。都市が広がるとデマンドバスは、移動範囲が広い客の要求が発生することにより、要求完了までの時間が増え、他の客の要求完了時間を増やすことで、時間効率が悪くなる。

協調型デマンドバスは、乗車要求頻度が中程度まで時間効率がよいが、乗車要求頻度の増加に従い 2 台のデマンドバスとより悪くなる。協調型デマンドバスは、都市を分担し、各地域の乗車要求頻度が減ることで、各デマンドバスが客の所へ到着する平均時間が短くなることや境界で乗客を引き継ぐ予想時刻に間に合うために、全地域を 2 台のデマンドバスが

巡回するより時間効率をよくなる。しかし、乗車要求頻度の増加に従い各地域の乗車要求数が増え、平均到着時間の増加や境界で乗客の引き継ぐ予想時刻に遅れてしまい時間効率を悪くする。

2 台の協調型デマンドバスは、都市が広がると小都市より担当地域が広くなり、各デマンドバスが客の所へ到着する平均時間が増加し、境界で乗客の引き継ぐ予想時刻にも影響が出てしまう。これは、協調型デマンドバスの台数を増やし、地域を狭くすることで改善できると考えられる。

## 7. 結論

### (1) 研究の成果

協調型デマンドバスは、担当地域を割り当てることで乗車要求を各地域で分担でき、客への平均到着時間を短くすることや境界で乗客引き継ぐ予想時刻に間に合うため、時間効率がよくなる。

協調型デマンドバスは各地域の乗車要求数が比較的少ない場合、広い都市でも同数のデマンドバスより時間効率がよくなるのに有効である。

### (2) 今後の課題

2 台の協調型デマンドバスは、同数のデマンドバスより時間効率をよくした。さらに台数を増やし場合、協調型は担当が狭くなり乗車要求も分担できるが、引き継ぎ回数が増えることで問題ある。今後、協調型デマンドバスの台数を増やして、乗車要求を分散したときの時間効率シミュレーションを行なっていく必要がある。

## 参考文献

- [1]野田五十樹、太田正幸、篠田孝祐、熊田陽一郎、中島秀之、デマンドバスはベイするか、知能と複雑系
- [2]太田正幸、篠田孝祐、野田五十樹、車谷浩一、中島秀之、都市型フルデマンドバスの実用性、高度交通システム研究会
- [3]境周平、若林竜太、内村圭一、デマンドバスの運用面積に関する考察、高度交通システム研究会
- [4]平田敏之、野田五十樹、太田正幸、篠田孝祐、シミュレーションによるデマンドバスにおける有用性の考察
- [5]岡谷正博、平田富夫、菅田安秀、中間地におけるデマンドバスシステムの開発、高度交通システム研究会