

車両割り当てアルゴリズムを用いたDRTのサービス特性に関する考察*

Study on Characteristics of DRT Services Using Vehicle Assignment Algorithm*

倉内文孝[†]・上島清孝[‡]・飯田恭敬[§]

By Fumitaka KURAUCHI[†]・Kiyotaka UESHIMA[‡]・Yasunori IIDA[§]

1. はじめに

本研究では、ITS 技術を援用した公共交通システムとして、デマンド応答型交通 (Demand-Responsive Transport; DRT) システムを研究対象とする。近年、特に過疎地におけるバスサービス継続の限界により DRT による代替輸送が注目されているが、本研究は、所与のデマンドパターンおよび道路ネットワークが与えられた際の DRT サービス条件を変化させた場合の利用者および事業者からのサービス評価値を算定することで、DRT サービスの基本特性を明らかにすることを目的としている。所与のデマンドに対して車両割り当てアルゴリズムを適用し、乗車デマンド割り当て結果より考察を進める。現実的な計算結果を得るために、デマンドバス運行の社会実験が実施されたけいはんな学研都市を計算対象ネットワークとして用いた。

2. DRT車両割り当てアルゴリズムの概要

本研究においては、筆者らによって構築された車両割り当てアルゴリズム¹⁾を用いて検討を進める。

(1) モデル化の前提条件

本研究で用いた割り当てアルゴリズムでは以下を仮定している。

- 定められたバス停で乗車・降車する、
- 予約先着順にデマンドは割り当てられる、
- 利用者は乗車/降車時刻に一定の時間幅を容認

している、

予約はバスが出発する時刻まで受け付ける、

バス停間の所要時間は既知であり一定である。

上記の仮定のうち、重要であるいくつかについて説明しておく。まず、予約先着順の予約形態 () は、予約順によって必ずしも最適な運行経路とならない場合が生じるが、予約を全て受け付けてから車両を割り当てる場合には、割り当て終了後に利用者に再度出発時刻について報告するなど必要があることよりこの方式を採用した。また、利用者は乗車時および降車時の遅れを容認していると仮定した ()。さらに、実際のサービスでは、必要に応じて走行中のバスにデマンドを割り当てる必要があるが、本研究では簡単のため全ての乗車予約受付はバスが走行する前に終了しているとしている ()。

(2) DRT車両割り当てアルゴリズム

所与の乗車デマンドに対する最適なDRT車両割り当ては、乗客の出発地、目的地、希望乗車時刻を入力としてバスの最適な運行計画を求める問題として位置づけられるDial-a-Ride問題 (DaRP) と呼ばれる。一般的なDaRPは、乗客の乗車地と降車地の順番が変わらないこと及び各乗客の所要時間増加が一定範囲内であることを制約条件として、乗客の総乗車時間 (乗客の総コスト) と空走を含む車両の総走行時間 (サービス提供者のコスト) の重み付き和を最小化する問題として定式化可能である²⁾。DaRPは、NP-Hard問題であるが、予約先着順のデマンド割り当てを行っていることより探索すべき実行可能空間が小さくなるため、ここでは総当たり法を基本として計算を進めている。

バスの巡回ルートは、ノード番号の順列として表現し、各巡回地点に対してプラスタイムウィンドウ、マイナスタイムウィンドウの属性を設定する。バスはこのタイムウィンドウ内に指定されたノードを通過しなければならない。また、複数のバスに対

* Keywords: DRT, 公共交通, サービス評価

[†] 正員, 博 (工), 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5126, FAX 075-753-5907, Email: kurauchi@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

[‡] 学生員, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

[§] フェロー会員, 工博, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

応するため、バスの切れ目を表すダミーノードを導入した。以下に本研究で用いたデマンドバスの配車アルゴリズムを説明する。

a. デマンド発生と各可能代替案への割り当て

すでに割り当てられたデマンドに対応可能な代替案に対して、順列の隙間に新たなデマンドに対応したノードを挿入した代替案集合を作成する。

b. 実行可能タイムウィンドウの計算

各代替案が実現可能かどうか吟味する。新たに挿入されたノードを巡回してもすでに割り当てられたノードのタイムウィンドウを満たすことができるかを調べる。そのような代替案について、乗車可能時刻、降車可能時刻を記録する。割り当て可能代替案がひとつもない場合には、この新規デマンドは物理的に受け入れ不可能であるとし、受付を拒否する。

c. 予定出発・到着時刻の計算

代替案集合の中から、割当基準の値が最適になる代替案を選び、新規デマンドの乗降バス停における乗車予定出発時刻・降車予定時刻を決定する。

d. 代替案集合の更新

乗車予定時刻、降車予定時刻より乗車ノード、降車ノードのタイムウィンドウを設定し、実行可能代替案集合を更新する。

e. 最終運行経路の決定

a. ~ d. までの手順を全てのデマンドに対して適用し、最終的に割り当て可能代替案の中で評価基準が最適のものを運行経路とする。この運行経路を用いて評価を行うこととする。

3. 計算条件

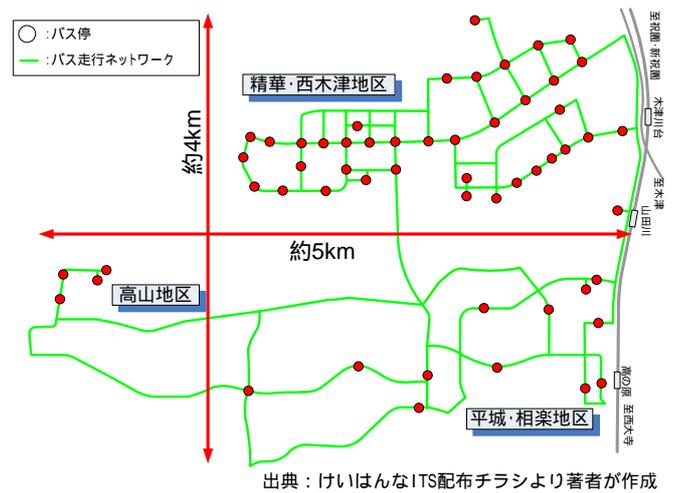
本研究ではデマンドバス運行の社会実験（けいはんな ITS 社会実験）が実施されたけいはんな学研都市を計算対象として用いることとした。デマンドパターンおよびバスネットワークを社会実験実施時の実績値により設定することで、より現実的な考察を行うことが可能と考えている。

(1) 計算対象ネットワーク

けいはんな ITS 社会実験が実施された、精華・西木津地区と高山地区の道路ネットワーク（図-1）を活用する。社会実験の条件に合わせ、55 箇所のバス停での乗降車を仮定している。

(2) 想定デマンドの作成

平成 15 年 7 月～平成 15 年 11 月の予約実績をも



出典：けいはんなITS配布チラシより著者が作成

図-1 計算対象ネットワーク

とにデマンドパターンを作成した。この期間では 8:30～19:30 の間でデマンドバスサービスが実施されていた。まず予約実績データより出発時刻分布を計算し、さらに時間帯ごとの OD パターンの偏りを考慮するために時間帯を 4 分割し、時間帯別 OD パターンを作成した。時間帯によってショッピングセンターへの需要の増減が観測されるなど、時空間的に偏りのあるものとなっている。計算の際の需要作成では、まず乱数を発生させ、それより希望乗車時刻を決定した後に、乱数をもうひとつ発生させ、対応する時間帯の OD パターン表より乗車/下車バス停を決定した。

(3) 計算のための設定条件

計算のための共通設定条件は以下の通りである。

- ・ 車両割当基準は、利用者側のサービス評価値である希望乗車時刻と実際の乗車時刻との乖離と、乗車時刻の増加の和（以下乖離時間）を最小化することとした。
- ・ 乗車側 5 分/降車側 20 分の許容遅れ時間を設定。
- ・ 全てのデマンドは乗降に 1 分要する。
- ・ バスは営業開始から終了までネットワーク内を自由に走行可能である。
- ・ 乱数による影響を避けるため、全てのケースについて 20 個のデマンドパターン計算する。
- ・ 計算対象時間帯は、8:00～19:00 とした。

4. ケーススタディ

(1) DRT車両数の影響

図-2 は車両数が 1, 2, 3 台の場合の総デマンド数に対する受け入れデマンド数の変化を示したもの

である。車両が 1 台の場合には最大でも 45 デマンド、車両 2 台で 80、さらに車両 3 台では今回計算を行った最大デマンド数である 120 のケースにおいてもほぼ全てのデマンドが受け入れ可能であった。

次に、受け入れたデマンドのサービスレベル、すなわち乗客の乖離時間の平均値と車両数・デマンド数の関係を考察する。図-3 はデマンド数の増加による平均乖離時間の挙動を、DRT 車両台数ごとに分けて示したものである。図中縦方向に分布しているのが各ケースにおける 20 個のデマンドパターンについての計算結果の分布であり、その平均を太線で結んでいる。同じ車両数で平均乖離時間を比較した場合、設定デマンド数が増加するにつれて平均乖離時間の増加率が緩やかになっているが、これは拒否されたデマンドが発生しているためである。また、この図を用いて求められるサービスレベルを保持できるデマンド数を算定できる。仮に平均乖離時間を 30 分以下に抑えるならば、バス 1 台では約 22 デマンド、バス 2 台では約 65 デマンド、バス 3 台では約 110 デマンドが受入可能となる。バス 1 台あたりで計算すると 22 個、32.5 個、36 個と大きくなるため、乗車需要が大きければ車両数を増加することによってより効率的にサービス提供可能といえる。

サービス事業者側の指標である 1 デマンドあたりのバス走行時間（平均走行時間）を図-4 に示す。車両数が増加すれば 1 デマンドに費やす平均走行時間は短くなり、より効率的な運行が可能となることわかる。特に 1 台よりは複数台使用の方が大幅な効率性改善が可能である。また興味深いのは、車両数が複数の場合、利用者側の評価基準である平均乖離時間と比較して、デマンドパターンごとのばらつきは非常に小さい点である。

以上より、DRT のサービス容量（受け入れ可能デマンド数）やサービスレベルの比較を実施した。その結果、デマンド数が増加すればより効率的な運行が可能であることを示した。では、サービス容量に近いサービスを実施している状態で、どの程度車両にデマンド数が割り当てられているのだろうか。効率的にデマンドを割り当てた例として車両 2 台、デマンド数 80 のケースのうち、平均走行時間が最小のものについて乗車密度を考察する。図-5 に乗車密度の推移を示す。最大同時割り当てデマンド数

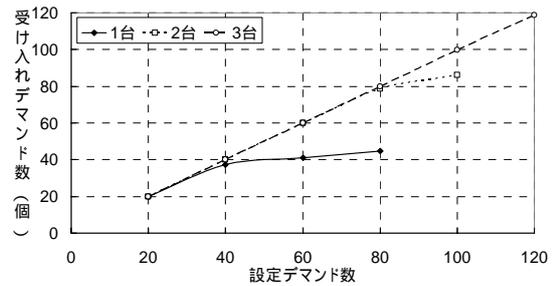


図-2 車両数ごとの受け入れデマンド数の推移

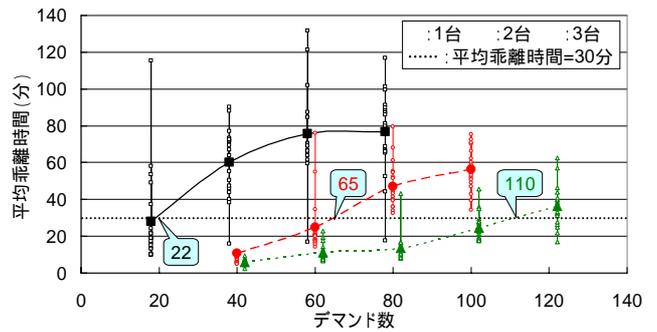


図-3 車両数と平均乖離時間の推移

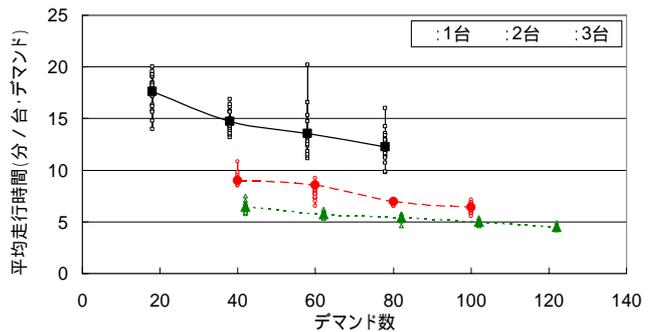


図-4 車両数と平均走行時間の推移

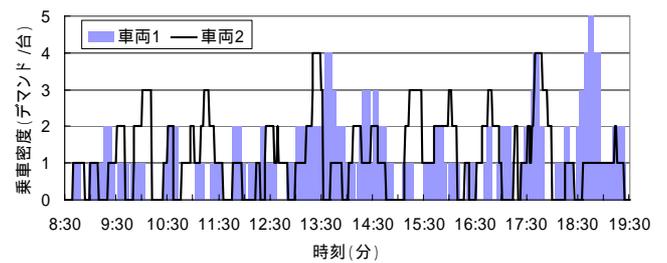


図-5 乗車密度の推移

(デマンド数 80, 車両 2 台, 平均走行時間最良)

は、車両 1 における 18:50 頃の 5 であり、全体で最多デマンド数の乗車は 17:30 分ごろの 8 デマンドである。さらに、全体で最も空走はほとんどなく効率的にバスは利用されている。一方、一日の平均乗車密度を計算すると、車両 1 が 1.21、車両 2 が 1.14 となっており非常に低い値となった。社会実験での実績値でみると、1 デマンドあたりの乗客数はおよ

そ 1.45 人となっており，一般に路線バスにおける
 存続基準が乗車密度 10 人程度であることを考慮す
 ると，路線バスと同等の料金水準では，ここで示し
 た計算設定において，バス事業として採算性を確保
 することは困難といえる．運行コストが低い運行方
 法を考えることが不可欠といえ，乗合タクシーなど
 による運行も視野に入れた議論が必要といえる．

(2) 予約順序の影響

ここで想定したサービスは，予約先着順の割り当
 てであるため，予約順によってサービス効率性が左
 右される．携帯電話の普及などにより，全ての予約
 を受け付けた後に最も効率的な運行を決定し，その
 後利用者に乗車予定時刻を返答することも考えられ
 よう．ここでは，出発時刻，OD は固定のまま，割
 り当て順のみを変化させた計算を実施することで擬
 似的に事後割り当ての効果を検討した．デマンド数
 60，車両 2 台のケースについて，基本ケースの 20
 パターンのうち，平均乖離時間が最良，最悪，そし
 て中間の 3 ケースを対象に，割り当て順序のみを変
 化させたケースを 20 パターンずつ計算する．それ
 ぞれの 20 パターンの結果のばらつきが予約順の影
 響といえ，3 ケースの最良値あるいは最悪値のばら
 つきが出発時刻および OD パターンの影響といえよ
 う．図-6 に計算結果を示す．横軸は，基本ケース
 の 20 パターンの計算結果を平均乖離時間が大きい
 順に並べ替えたものである．ケース番号 1，10，20
 に対してデマンド割り当て順を変化させた 20 パタ
 ーンの計算結果が縦方向に示されている．計算結果
 より，予約順序の影響（図中点線矢印）は大きく，
 事後割り当てによってサービス効率性を大幅に高め
 ることが可能といえる．さらに，3 ケース間での最
 良値のばらつきを示したのが図中実線矢印である．
 両者を比較すると，OD の影響より予約順の影響の
 方が多少大きい可能性があることがわかる．

5. おわりに

本研究では，車両割り当てアルゴリズムを用い，
 デマンドバス運行の社会実験が行われたけいはんな
 地域を対象としたケーススタディを通じて DRT の
 サービス特性の把握を試みた．本研究で提案した方
 法によって，DRT 導入想定地域のネットワークデ
 ータおよび想定デマンドをもとに，サービス形態の
 比較検討が可能といえる．本稿では，特に車両数の

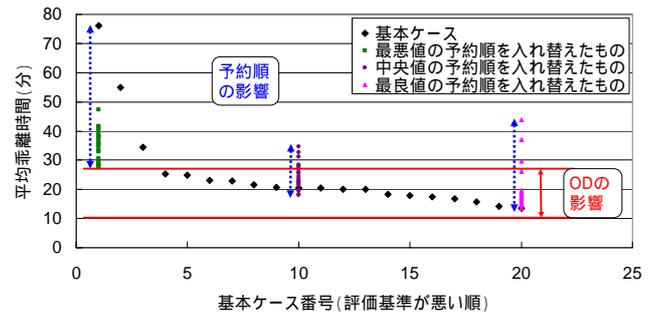


図-6 予約順と OD パターンの影響比較
 (デマンド数=60)

サービスレベルへの影響および予約順序を変化させ
 たケースを考察した．その結果，1)乗車デマンドが
 増加し，複数車両が導入できればより運行効率性が
 高まること，2)想定したサービス形態でバスを満た
 すほどの需要を割り当てることは困難であり，DRT
 サービスとしては小型車両の方が望ましいこと，3)
 予約順序のサービス効率性に及ぼす影響は小さくな
 く，事後割り当て方式によるサービスも視野に入れ
 た議論が重要であること，などが明らかとなった．

今後の課題としては，1) DRT 選択に関する意思
 決定構造の解明，2)異なる評価基準，許容待ち時間
 の変化など様々なケーススタディの実施，3)車両の
 容量を考慮する，時々刻々発生するデマンドを動的
 に割り当てられないなど割り当てアルゴリズムの改
 善，4)計算アルゴリズムの改良，などがあげられる．
 謝辞

本研究で用いたデータは，地域新生コンソーシ
 アム研究開発事業「IT 技術を活用した融合型公共
 交通システムの実用化研究開発（略称：けいはんな
 ITS）」において収集されたものである．ここに記
 し，関係者の方々，特にデータ整理にご尽力頂いた
 中央復建コンサルタンツ株式会社，細川寛氏，伊藤
 薫氏に深謝します．

参考文献

- 1) 城島，飯田，倉内：“デマンドバス配車アルゴ
 リズムの開発”，土木学会第58回年次学術講演
 会講演概要第IV部門，827-828，2003.9．
- 2) Psaraftis, H. N.: “A Dynamic Programming
 Solution to the Single Vehicle Many-to-Many
 Immediate Request Dial-a-Ride Problem”,
 Transportation Science, pp. 130-154, 1980.