

# オンデマンドバスシステムの実証実験による評価

本稿では、開発した時間指定の出来るオンデマンドバスのスケジューリングアルゴリズムの有効性を実証実験により検証する。バスを運行させる実験を行うにあたり、乗客の予約情報を聞き取る機能、更新される経路情報をバスに伝える機能および正確な移動時間を予測する機能を構築した。千葉県柏市の北部地域にて実証実験を行った結果、支払い意思額の分析によれば、当該実験のデマンドバスのサービス水準は、平均して既存の路線バスよりも劣るという結果となった。しかしながら、運行時刻が正確な事がサービスの評価に対して最も強い影響を及ぼしていること、さらには通勤・通学といった時間的制約の大きな状況下での利用時に、より高い価値を提供できる可能性が部分的にありうることを示唆できると著者は判断した。

キーワード | オンデマンドバス, 実証実験, 時間指定, データマイニング

坪内孝太

TSUBOUCHI, Kota

修(環境) 東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻博士課程

大和裕幸

YAMATO, Hiroyuki

工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻教授

稗方和夫

HIEKATA, Kazuo

修(工) 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻助教

## 1——はじめに

2006年10月の道路運送法改正<sup>1)</sup>や、IT技術の進展、地方の高齢化問題などを背景として、オンデマンドバスのような乗客の移動需要に合わせて弾力的に運行できる効率的な交通機関が必要とされている。

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利用目的に偏り、通勤・通学といった時間的制約の強い利用目的に対応することは難しい。

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<sup>2)</sup>。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特殊な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スケジューリング特有にみられる遅延が起こらないように工夫している。これら3点の特長により、各乗客が自身の発着時刻を予約の時点で見ることが出来るオンデマンドバ

スサービスが可能になった。このサービスにより乗合が発生しても乗客と約束した時間を守って運行できるようになるため、現行のオンデマンドバスに見られる乗客や利用目的の偏りを解消することが期待できる。

本稿は、開発したオンデマンドバスのスケジューリングアルゴリズムを中心にサービスの実用化設計を行い、千葉県柏市北部にて行った実証実験の報告を行うこと、および実証実験により構築したオンデマンドバスサービスの有効性を検証することを目的とする。

## 2——オンデマンドバスシステムの設計と構築

### 2.1 オンデマンドバスシステムの設計

#### 2.1.1 求められる機能

サービスが実際に成り立つためには①乗客の予約情報を聞き取り、スケジューリングアルゴリズムが実装されているシステム(計算システムと呼称する)にインプットする機能、②計算システムからのアウトプットである発着時刻を乗客に伝える機能、③同じく計算システムからのアウトプットである更新された運行スケジュールをバスに伝える機能、④現在位置や乗客の乗降状況などといった運行を管理するために必要な情報を受け取る機能、⑤各々の顧客情報を管理する機能といった5つの機能が基本機能として必要になる。

これに加えて本研究で開発したスケジューリングアル

ゴリズムを実用化させる場合には⑥正確な移動時間を見積もる機能も重要になる。なぜならば、移動時間が正確に近い形で見積もることが出来なければ、定時性の問題が生じ、現行の路線バスのようにサービスへの信頼を失いかねないからである<sup>3)</sup>。また、⑦乗客が運行状況を確認できる機能も構築し、サービスの信頼性向上に努める。

## 2.2 オンデマンドバスシステムの構築

### 2.2.1 開発したシステムの概要

開発したオンデマンドバスの概要について図一に示す。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もりに貢献する。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。

以降、各機能の詳細を説明する。

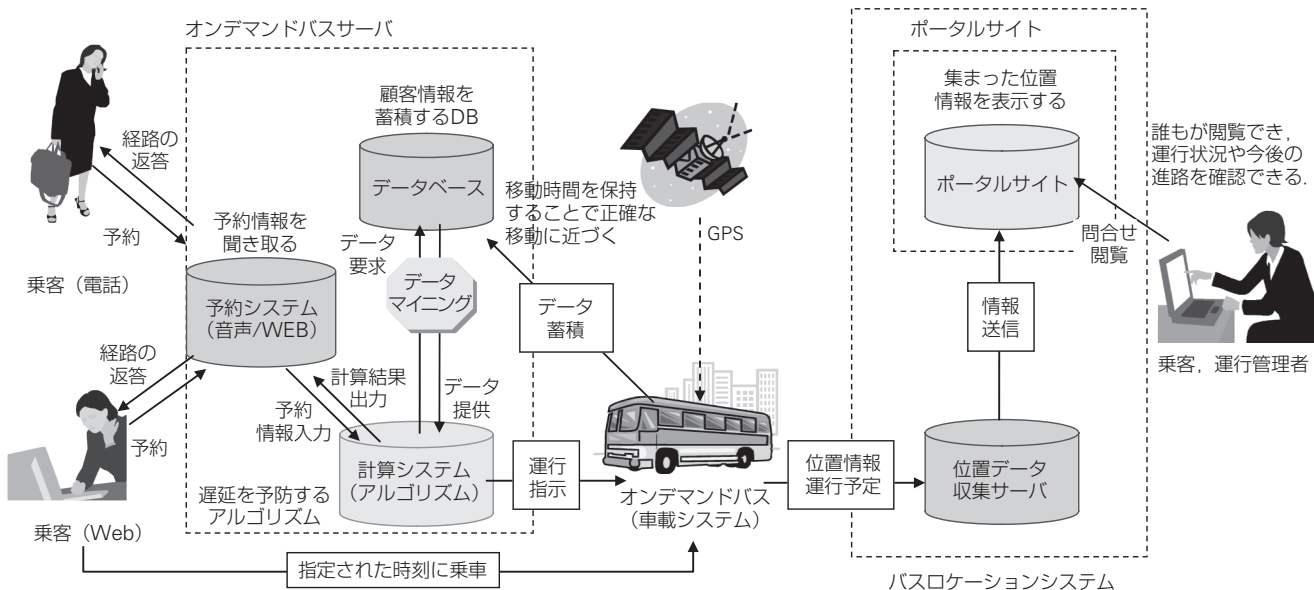
### 2.2.2 予約システム

まず、乗客との対話により乗客のデマンド情報を聞き取る機能を持つ予約システムについて説明する。予約システムのインターフェイスはWebによる方法と電話による方法の2つの窓口を準備した。Webアクセスに対しては適切な情報をWebページ上に表示するという対応になるが、電話アクセスへの対応はこれに加えてまず電話を取る/切るなどの回線制御を行う必要がある。この制御はComputer Telephony Integration (CTI) プラットフォーム技術を用いて実装した<sup>4)</sup>。

CTIプラットフォームにより回線が確立されると、顧客とシステムとの対話が行われる。予約システムは決まった質問項目を音声として流し、乗客からの発話やプッシュボタン入力により顧客のデマンド情報を聞き取り、計算システムに引き渡す。また、計算システムから返ってきた計算結果を音声に変えて乗客に伝達する。この対話の制御はVoiceXMLで実装した。

### 2.2.3 計算システム

予約システムが聞き取った乗客のデマンド情報はインプットとして運行スケジュールを生成するアルゴリズムの実装された計算システムに送られる。計算システムは、アルゴリズムに従って新しく入った予約と過去の予約から運行スケジュールを更新する。なお、この時に用いる運



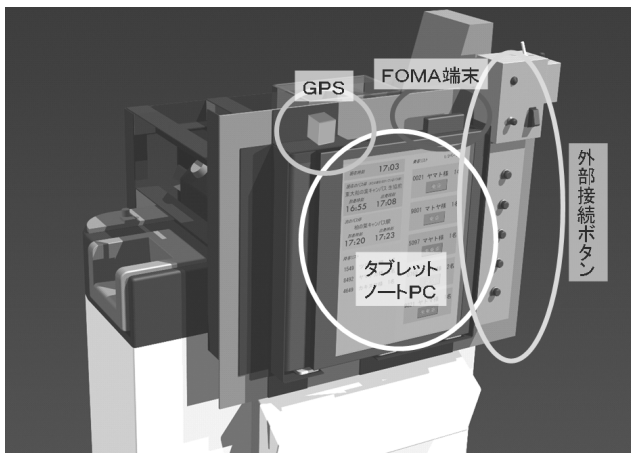
■図一 オンデマンドバスシステム概要

行スケジュール生成アルゴリズムは本研究独自に開発したアルゴリズムである。

## 2.2.4 車載システム

更新された運行スケジュール情報や顧客の乗降情報をバスとサーバの間で交換する必要があり、この通信はTCP/IP上のソケット通信で行う。車載器はNTTドコモのFOMAを用いてインターネットに接続する。

図一2に車載システムのハードウェアを示す。FOMA端末やGPS、タブレットノートPCは市販されているものを使用した。運転手は、USBケーブルを通じてパソコンと連動している外部接続ボタンを操作し、「到着」「乗車」「出発」といったバス側のイベントをサーバに送る。



■図一2 車載システム(ハードウェア)

また、実験機ではカーナビゲーションシステムと乗客の乗降情報との連携をはかった。運行スケジュールが更新されると、GPSで取得した現在位置と次に向かうバス停までの経路を白点線にて表示し、ナビゲーションを開始する。運転手は乗降情報画面により次のバス停で乗車する乗客の情報や発着時刻を把握し、ナビゲーション画面により経路を確認する。表示される情報は予約が更新されるたびに变化する。図一3に運転手が実際に確認していた2種類の画面の一例を示す。左側が乗客の乗降情報



■図一3 車載システム(運転手が確認する画面)

画面、右側がナビゲーション画面である。車載器にはどちらか一画面が表示されており、必要に応じて運転手が切り換えて確認する。

## 2.2.5 データベース

バスの移動実績や乗客の予約ログは全て顧客管理データベースに蓄積される。この蓄積される大量のログをマイニングし、正確な移動時刻を見積もることで、遅延の低減に役立てることができる。

正確な移動時間を推測する機能はVICSなどのような既存の技術にも実装されている。しかし、①推測に必要とするのはVICSが提供する「現在の」移動時間ではなく「数時間後の」移動時間であることおよび②天候や曜日などといった人の移動が変化するイベントを加味した移動時間の見積もりができるようチューニングしたいといった将来的な展望などを考慮し、移動時間を推測する機能を独自に開発した。移動情報として学習型のデータベースを用い、過去の類似の実記録から移動時間を推測する方法をとった。学習に用いる式は次に示す通りである。

$$T_{New}(a,b, hour) = \frac{T_{Data}(a,b, hour) + T_{Old}(a,b, hour) \times N}{N+1} \quad (1)$$

ただし、 $T(a, b, hour)$ は $hour$ 時における地点 $a$ から $b$ までの移動時間とする。 $T_{Old}$ は更新前の移動時間、 $T_{Data}$ は実際の移動時間、 $T_{New}$ は更新後の移動時間を示す。また、 $N$ はデータの更新回数を示す。

バスより報告される移動時間 $T_{Data}(a, b, hour)$ は、すべて更新に使われない。たとえば、突発的に起こる事故渋滞が原因で生じた移動は例外とみなされるべきであり、更新に用いる情報としては不適切である。そのために更新の許容範囲を設ける。更新許容範囲は許容定数 $p$ によって決定する。すなわち、 $T_{Data}(a, b, hour)$ が以下の式の条件を満たすときのみを更新処理を行う。

$$\frac{1}{p} \leq \frac{T_{Data}(a,b, hour)}{T_{Old}(a,b, hour)} \leq p \quad (2)$$

なお、実証実験では許容定数 $p$ の値として $p=2.0$ という値を用いた。 $p$ の値は「天候および曜日によってどの程度の移動時間のブレがあるか」を地元のタクシー会社にインタビューして設定した値で、運行する地域によって異なる値である。また、本実験では簡単なインタビューから $p=2.0$ と一律に決めて設定したが、複数回の実証実験を繰り返し調整していく運用が望まれる。

## 2.2.6 バスロケーションシステム

バスロケーションシステム<sup>5)</sup>は位置情報収集システムに集められたバスの位置や運行状況といった情報を、gooなどの地図サービスを提供しているポータルサイト上に

表示するシステムである。位置情報収集システムはNTTドコモが開発したサービスを利用した。このシステムにより、インターネット網を介して誰もが閲覧し、図一4の要領で運行状況を確認することができる。オンデマンドバスは、路線バスとは異なりバスの経路が乗客の需要に応じて変わることから、位置情報や運行情報の提供によりサービスの信頼性を維持・向上させる必要がある。



■図一4 バスロケーションシステム画面

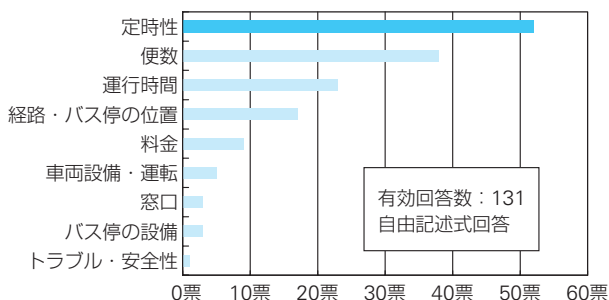
### 3——千葉県柏市北部地域における実証実験

#### 3.1 千葉県柏市北部地域の特徴

実証実験を行った千葉県柏市北部地域について述べる。柏市は千葉県の北西に位置し、東京都のベッドタウンの1つである。約110km<sup>2</sup>の地域に38万人が暮らしており、人口の16%が65歳以上という状況である。

実証実験地域は柏市北部で、住宅地、工場、大きな公園、学校、国の研究機関、駅、病院などが混在している約5km四方の地域である。2004年8月のつくばエクスプレス開通、2005年4月の東大柏キャンパス拡大、2006年11月と2007年3月の大型商業施設の完成などといった影響で人の動きが大きく変化している地域である。時間帯や天候によって交通量が変化し、渋滞も発生する。

地域の路線バスの特性を調べるために実証実験の会員登録者全員にWebアンケートをとり柏市の路線バスの不満を自由記述方式で求めた。結果を図一5に示す。有効回答131人のうち39.6%にあたる52人が「定時性」に



■図一5 柏地区における路線バスへの不満

関して不満を持っていることが分かり、柏地域での路線バスが定時制に関する課題を抱えていることが分かる。

この地域は東京のベッドタウンであり、JR柏駅を通勤・通学に利用する乗客が圧倒的に多かった。そのため柏駅へ通じる路線バスが住民の主な交通手段として確立されており、十分な交通需要を処理していた。しかし、昨今の高齢化により域内の需要が増え、こうした需要の多様化に対して新しい交通体系が必要とされる地域である。

#### 3.2 実証実験の概要と目的

実証実験の目的は、通勤・通学といった比較的時間的制約の大きな利用者に対して利用時間を指定でき、かつ約束した時間に対して遅延せず運行する新しいオンデマンドバスサービスがどのような付加価値を生むかを検証することにある。

千葉県柏市北部地域は東大柏キャンパスや国の研究機関および工場などが集中しており、通勤・通学を対象とした実証実験を行うには適している。



■図一6 実証実験全域地図

実証実験は2006年11月と12月の2ヶ月間の平日38日間行った。運行時間は午前と午後に分け、1日で計6時間の運行を行った。午前は7時半から9時半の2時間、午後は18時から22時までの4時間とした。オンデマンドバスを運行させた時間帯は通勤・通学の利用客が見込める時間帯である。

実証実験の告知はチラシ、E-mail、HP<sup>6)</sup>、ブログなどといった多様な手段を用いて行った。また、実験期間中に報道で取り上げられた事も良い告知となった。

実験の運行は会員登録制により運賃をとらずに行った。最初に利用する際に電話あるいはWebから会員登録をし、IDとパスワードを発行する。会員登録制としたことで、個人の移動を把握することが出来る。なお、本研究における実証実験では通勤・通学を中心とした時間的制約の大きい利用者を対象とした実験であったため、携帯



■図-7 オンデマンドバスのバス停の配置状況

電話の自動応答やWebによる予約といった高齢者には難しいとされる予約インターフェイスでも利用者を限定するなどの問題はないと考えた。

対象地域にバス停を88箇所配置した。初期は84箇所だったが、乗客の要望が多いところには実験期間中に適宜増設した。図-6に9箇所および図-7に79箇所のバス停の配置状況を示す。図-6は実証実験エリアを俯瞰的に見た図である。図-6中の網掛け部分を拡大した図-7からは、特に勤務地として大きな需要が期待できる実験地域の北西部地域に路線バスのバス停よりも高い密度でオンデマンドバスのバス停が配置されていることがわかる。

車両は午前・午後共に2台を利用した。午前は定員4名のセダンタイプのタクシーを2台、午後は定員8名のジャンボタクシーと定員18名のマイクロバスを1台ずつ利用した。図-8に実際に使用した車両の写真を示す。



■図-8 車両の写真

左上：マイクロバス（定員18名）  
 左下：ジャンボタクシー（定員8名）  
 右上：セダンタクシー（定員4名）

### 3.3 実証実験の結果

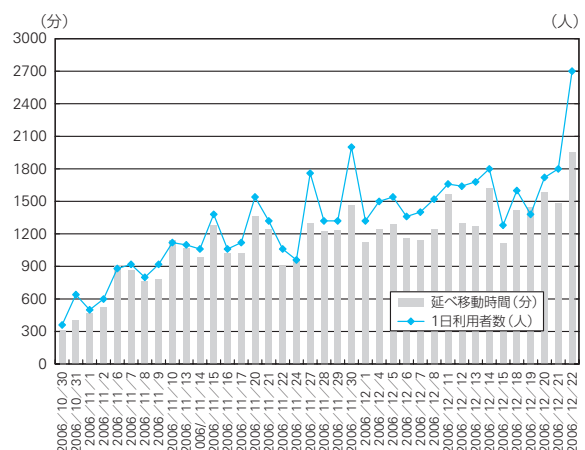
#### 3.3.1 実証実験の利用状況について

まず、実証実験におけるサービスの利用状況を示す。

図-9はシステムに蓄積される乗車ログから実験期間中の利用者と延べ移動時間の推移を示したものである。実験開始時は1日約30人の利用者だったが、最終的には約3倍の平均90人に増加していることが分かる。また乗客の増加に伴い、バスの延べ移動時間も増加している。

なお、2006年11月22日に大型商業施設がグランドオープンし、実験区域全般において渋滞が多発した。この影響に備え、2006年11月22日と2006年11月24日の2日間は運行に遅延が発生する旨をブログにより告知した。図-9からも両日には利用者数に落ち込みが見られる。なお、本イベントが交通量にもたらす影響は22日と24日の2日間のみで27日以降は平常の交通量に戻った。

実験期間を通じて延べ2482人が利用した。利用者の頭数は322人で、平均一人あたりに約7.7回利用された。

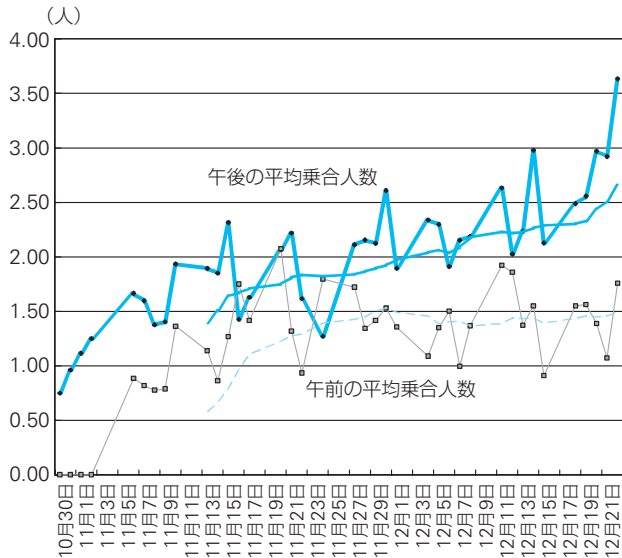


■図-9 1日あたりの利用者数と延べ移動時間の推移

図-10には1日あたりの平均乗合人数の推移を示す。平均乗合人数は、乗客の延べ移動時間をログから求め、それをバスの運行時間の総和で除することで求めることのできる乗合の効率を表す指標である。

$$\text{平均乗合人数} = \frac{\text{乗客の延べ移動時間}}{\text{バスの運行時間}} \quad (3)$$

たとえば、乗合が発生せずタクシーのような輸送を続けた場合は往復の距離に1人を運ぶ計算になるため、平均乗合人数は0.5人となる。また、乗客を運ばない待機の時間があればさらに数値は低くなる。



■図—10 1日あたりの平均乗合人数の推移

図—10からは午前中の数日間を除いて乗合率が1.0人を上回っており、乗合が発生していることが確認できる。これは、通勤・通学といったまとまった利用者の移動が多い時間帯に運行したために効率的に乗合が発生したことを示している。

図—10中で途中から見られる2本の線は各々の平均乗合人数の10日間移動平均を示している。実験後半の10日間移動平均線を見ると午前の運行では伸びが見られず停滞しているのに対し、午後の運行では平均乗合人数の伸びが見られる。これは車両のサイズの違いによるものであり、午前中は4人乗りタクシーを使用したために定員が飽和することが多かったが、午後は10人乗り以上の車両を使用したことで、定員にゆとりがあったのではないかと推察できる。

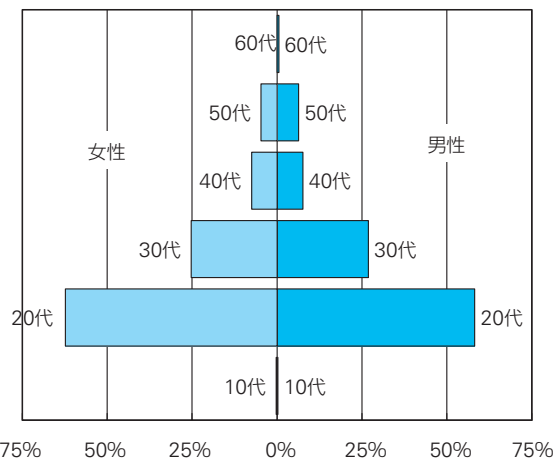
### 3.3.2 アンケート調査について

オンデマンドバスの効果を測定する目的で行ったアンケート調査の概要を示す。アンケート調査は、利用者の乗車回数に関係なく乗車時にアンケート用紙を1枚とり、移動中に回答し、降車時にアンケート回収ボックスに入れてもらうという形式で行った。延べ利用者数2482人のうち約87%にあたる2157人からアンケートを回収することができた。なお、本アンケートは同一人から複数回収しており、このサービスに価値を認める同一人がより

多くの回数、アンケート回答に応じている可能性がある。したがって、価値判断を求める設問の集計については、一定のバイアスがかかっている可能性が大きい。

### 3.3.3 利用者の特性について

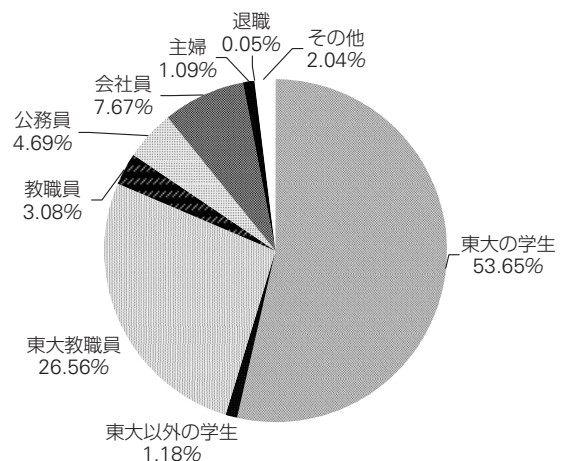
アンケートから得られた利用者の構成を示す。図—11は年齢と性別の構成、図—12は職業の構成、図—13は利用目的の構成である。既存のオンデマンドバスが高齢者や主婦の通院や買い物といった時間的制約の小さい利用目的にのみ利用されている課題について指摘したが、本実証実験では東京大学関係者を中心として20代から30代の利用者に多く利用されたという偏りが読み取れる。



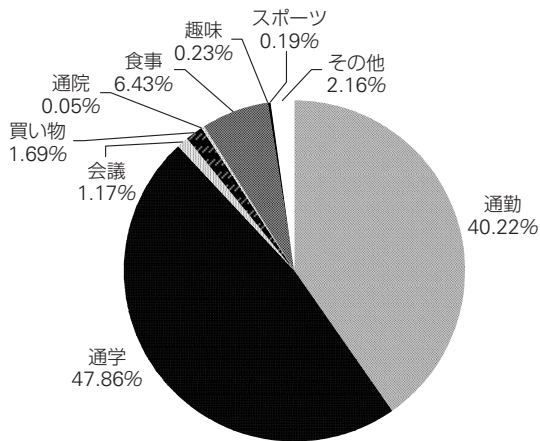
■図—11 乗客の構成

また、利用目的も通勤・通学といった時間的制約の強い利用目的を中心に利用されている。通勤・通学といった時間的制約の強い乗客を中心にアンケートをとることで、時間指定のできるオンデマンドバスシステムの有効性を検証することができる。

職業構成を見ると、79.2%の乗客が東大の学生あるいは東大の教職員だった。東大関係者を除くと、多くが公務員や会社員、(東大以外の教職員)であり、通勤・通学として主に利用されていることが分かる。



■図—12 乗客の職業構成

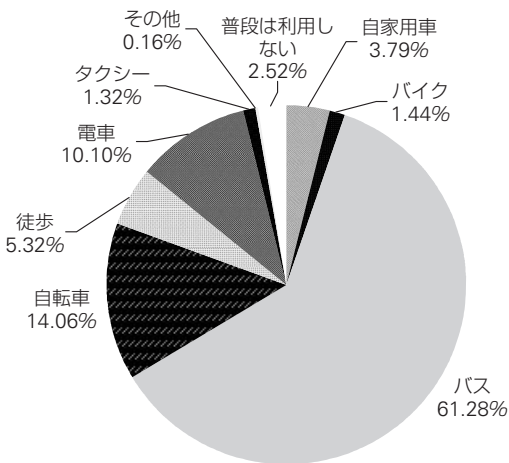


■図—13 乗客の利用目的

利用目的を見ると、88.1%の乗客が通勤・通学であった。これは運行時間帯による影響が大きいと推察される。同じ時間帯の中で食事(6.4%)や買い物(1.7%)といった利用目的にも利用されており、昼間の運行時間を増やすことで、このような時間的制約の低い利用目的にも対応できた可能性が見える。

図—14は利用者が同じ移動を普段どの交通手段で利用しているかを調べたものである。実験地域は普段から路線バスによる移動が多く、そのため路線バスからの乗り換えが61.3%を占めるという結果となった。

また、数は5.2%程度にしか及ばなかったが、自家用車やバイクといった交通手段からの乗り換えも見られ、環境に優しい乗合い交通体系を促進する可能性も見られた。さらに、普段は利用しないという意見も2.5%見られ、わずかではあるがオンデマンドバスによって新しい移動の需要を喚起できる可能性が見られた。

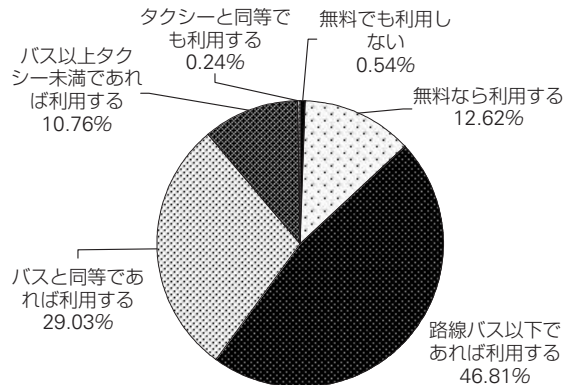


■図—14 乗客の普段の移動手段

### 3.3.4 妥当だと考える料金の分析について

妥当だと考える料金について評価する。この指標はサービスへの満足度に関する指標である。アンケート調査において図—15に示す6段階の選択肢から1つ選択するという方法で調査をした。

結果を図—15に示す。59.4%の乗客が路線バスより低い料金であれば利用すると答えた。一方で、40.0%の乗客に対して路線バスと同等あるいはそれ以上の支払い意思を持つ可能性が示唆された。つまり、当該実験のデマンドバスは、総体として、既存の路線バスよりも低い満足度しか提供できなかったことが明らかになった。

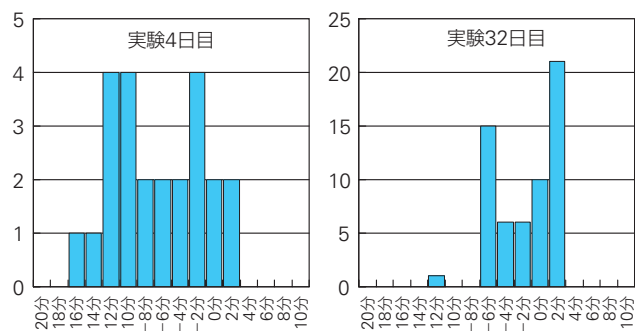


■図—15 妥当だと考える料金について

### 3.3.5 時間に関する評価

本研究のオンデマンドバスサービスは既存の経路・時刻非固定のオンデマンドバスとは異なり、スケジュールリングによる遅延を予防し、かつ学習型のデータベースシステムで正確な移動時間が予測できるようになるといった優位点を持つ。すなわち、理論上では「ゆとり時間の範囲内で、早く到着することはあっても、遅延はない」という特徴が見られる。

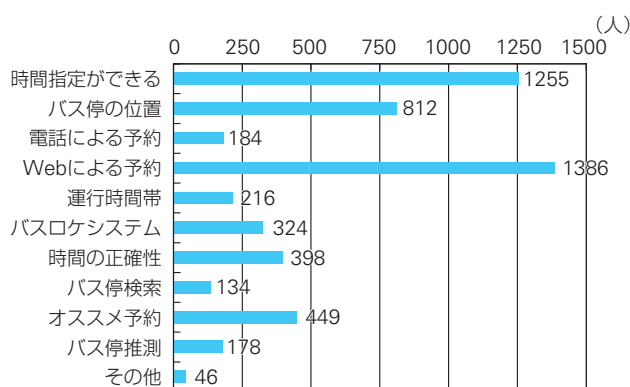
実験において通知した到着時刻と実際に到着した時刻とのズレを図—16に示す。図—16より、実運行では0~2分の遅延が25%弱見られるが、それを除くとすべて通知時刻より早い時間に到着しており、ほぼ正確に運行できていたことが分かる。また、実験の前半と後半では、後半の方がよりズレの少ない到着時間の予測ができるようになっていることが読み取れ、実運行を重ねることで正確な移動時間を見積もることができるようになった効果であると考えられる。



■図—16 実験4日目の遅延状況と実験32日目の遅延状況との比較 (通知到着時刻—実運行到着時刻)

移動時間を正確に見積もる運行が実現できていることを示したが、このことがサービスの満足度に影響をどの程度与えているのかを検証する必要がある。

複数選択式で便利だと思う点についての回答を得た。結果を図—17に示す。時間指定の出来る点が便利と答えた乗客が58.2%おり、時間指定ができる事が高い評価を得ていることが分かる。また、予約方法として電話による予約とWebによる予約といった2種類のインターフェイスを設定したが、Webによる予約が便利と答えた利用者が64.3%と多かった。また、バス停がきめ細やかに配置されていることも37.6%の乗客に便利だと思われたことが読み取れる。



■図—17 便利だと思う点(複数選択方式)

オススメ予約とは乗り合い効率を高めるために工夫したWeb予約の機能である。乗客が発着地を入力すると、自動的に乗車時刻が提案される機能である。この機能で提案される乗車時刻は他の乗客と乗合が発生する時刻である。乗客にとっては時刻を入力しなくても良いというメリットがあり、運行側にとっては乗合効率が高まるといったメリットを持つ。

バス停推測も、Web予約のユーザビリティを高める機能である。過去の利用頻度から最頻のバス停の組合せを自動的に入力することで、できる限りユーザが自分で入力する手間を軽減しようとした機能である。

遅延のない運行をすることが乗客に付加価値をもたらすかを多変量解析により検証した。図—15に示した①妥当だと考える金額の項目と図—17に示した②便利だと感じた機能の2点について重回帰分析を行い、妥当だと考える金額と便利と感じた機能との回帰式を求めた。回帰式の各説明変数における係数を見ることで、各評価項目が妥当だと考える金額に対してどの程度影響を与えているのかを調べることができる。

まず、妥当だと考える金額のアンケート結果については回答に応じて低い回答から順に1点から6点までの評価値を割り当てる。この値を目的変数とした。次に、便利だと感じた機能のアンケート項目については選択した

場合に1、選択しなかった場合に0という値を与えた。この値を説明変数とした。

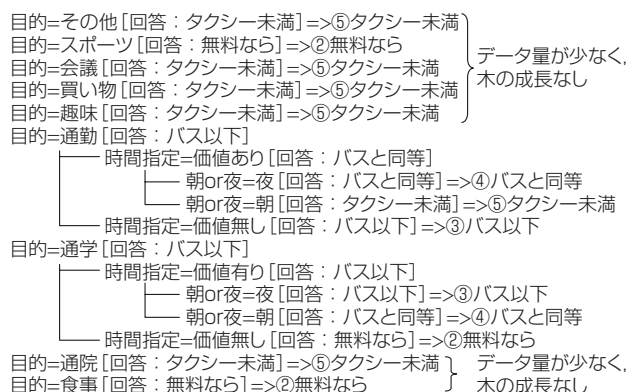
重回帰分析を行った結果を表—1に示す。表—1を見ると、運行時間が正確である点が妥当だと感じる料金に対して最も影響度は高い。すなわち、遅延のない運行が妥当だと感じる料金の評価に対して大きく寄与していることが読み取れる。また、バスロケーションシステムも0.06ポイント低い2位だったが、バスロケーションシステムはバスの運行を乗客側が確認する機能で、これも定時性に関係する項目である。4位の時間指定ができる点も合わせて、時間指定ができ定時性を守って運行できる機能が、妥当だと考える料金の評価項目に対して強い影響を持っていることが分かる。

■表—1 各評価項目が支払い意思額に与える影響

順位	評価項目	係数
1	運行時刻が正確な点が便利	0.277
2	バスロケーションシステムが便利	0.218
3	運行している時間帯が便利	0.163
4	時間指定ができる点が便利	0.121
5	バス停の位置が便利	0.077
6	Webによる予約が便利	0.033
7	電話による予約が便利	-0.200

なお、今回の実験ではアンケート結果が3段階目と4段階目の回答で約76%を占めており、1点の差について回帰式で表現をしたため係数が0.3以下と小さく比較しづらい。次回以降の実験では支払い意思額を具体的な金額で書いてもらうことでより詳細な分析が期待できる。

決定木分析により時間指定できる事に価値を置く場合にどのような規則性があるのかを調べた。評価対象を支払い意思額に相当する「妥当だと感じる金額」とし、木を分岐させる要素として①利用目的、②時間指定ができることに価値を便利だと感じるか、③朝夜の予約のどちらかといった情報を利用した。なお、決定木はC5.0のアルゴリズム<sup>7)8)</sup>で作成し、最小の枝葉のレコードを50レコード、剪定度は75%という条件で作成した。



■図—18 決定木による利用パターンの検出



図一18の結果を見ると、第1段階は利用目的で分岐されることが分かる。利用目的で分岐された9つの枝のうちさらに木の成長が見られたのは通勤と通学の利用目的の時のみである。これは、他の枝については最小の枝葉レコード数に達していなかったためであると考えられる。

木の成長がみられた通勤・通学の利用目的のデマンドに対してより詳細な考察をしたい。通勤の場合、次に時間指定ができることに価値を置くかという項目で分けられている。ここで注目したい点は「時間指定ができる」の枝の方がより高い評価を得ているということである。

さらに、時間指定ができるという点についてさらなる木の成長が見られた。朝夜どちらの通勤かという項目によって分けることができる。一般的に朝の通勤は夜の通勤に比べて始業時刻に間に合うように移動するため時間的制約が厳しい。こうした状況の場合、評価値が高くなることが確認できた。

すなわち、図一18の決定木からは2つの事が確認できる。1つは時間指定ができることに重きを置くデマンドに対してオンデマンドバスシステムはより高い付加価値を提供できるということ、もう1つは同じ通勤でも朝の時間的制約が大きい通勤時間帯の方が高い評価を得ることができることである。これら2点から時間指定ができ遅れないオンデマンドバスは通勤といった時間的制約の比較的強いデマンドに対して有効に働くことが確認できる。なお、通学についても通勤と全く同様の木の成長が見られ、同様の帰結を得ることができる。

### 3.4 実証実験の考察

実証実験では本研究で開発したオンデマンドバスシステムの有効性を検証した。これまで記述したアンケートについて、3.3.2で述べた限界があることを認識した上でこれを整理して考察とする。

まず、利用者についてであるが、実証実験で想定していた通りに88.1%の乗客が通勤・通学といった時間的制約の強い利用目的で使用された。したがって、通勤・通学といった時間的制約の大きい利用目的で移動した乗客の意向を把握することが出来る。

支払い意思額の分析では40.0%の乗客に対して、バスと同等もしくはそれ以上の価値があるとおおむね評価された。一方で59.4%の乗客については路線バスより低い価値が妥当だと答えていることから、当該実験のデマンドバスは既存の路線バスよりも低い満足度しか提供できていないことが分かる。路線バスより低い満足度しか提供できなかった理由は明らかではないが、10分程度待てば乗車できる実験地域の路線バスに対して、予約を行わなければバスに乗れないといった手間がサービスとし

ての評価を低くしたのではないかと推察できる。

本稿では特に時間指定ができるという本研究の優位性について重回帰分析と決定木分析といった詳細な分析を行った。まず重回帰分析を行った結果、通勤・通学を中心とした利用者に対して時間の指定できることが、妥当だと感じる料金という評価項目に大きな影響を及ぼしていることを実証した。次に、決定木分析からは特に時間指定の価値があると判断した人ほど高い料金を妥当だと考える傾向が強く、さらにその傾向は時間的制約の大きい朝の通勤時間帯ほど強く確認できた。

以上から、当該実験によるデマンドバスの有効性は、アンケート調査による支払い意思額の観点からは否定されたが、朝の通勤・通学客のような時間的制約の大きい利用者に対して利用時間を指定できることが高い付加価値を生み出す可能性があるかもしれないことが示唆されたともいえる。

今後の課題を以下に示す。まず、技術的課題としては移動時間の見積りに多面的なメタ情報を付与することである。本稿で比較にあげた2日間の事例は共に天候が快晴の事例であり、雨が降った日には道路状況が変わるため遅延も見られた。天候や曜日といったメタ情報を加味した移動時間の見積りを行うことで、降雪時と晴天時といった全く移動時間が異なることが推測されるような状況に対しても、正確な移動時間を見積もることができるのではないかと期待できる。

次に、サービス評価のアンケート結果における信頼性をより増すため、有償運行を行うことがサービス改善という観点からは重要な課題といえる。そのためには、運賃収受方法の決定や地域の既存の交通機関との調整などが必要となる。

さらに、本研究で開発したオンデマンドバスサービスが実用化され、地域公共交通機関として導入されるためには、費用対効果、収支採算性、安全マネジメントシステムといった観点からの評価も課題として残されている。

## 4——結論

本研究で開発したスケジューリングアルゴリズムを中心としたオンデマンドバスシステムを構築し、千葉県柏市北部における実証実験により、開発したシステムの設計概念を一定条件下において実現していることを示すとともに、通勤・通学といった時間的な制約の強い利用目的に対して時間を指定できかつ約束した時間に遅れないサービスを実験的に提供し、その有効性を検証した。

これまでのオンデマンドバスでは高齢者や主婦の通院や買い物といった時間的制約の小さい利用目的に対応

していたが、本稿は利用目的の時間的制約が大きい需要に照準を合わせてサービスを開発することで、制約の小さい高齢者や主婦といった利用のみならず、通勤・通学といった時間的制約の大きな利用にも対応できる可能性を示そうとした。また、そのことがオンデマンドバスの乗合効率を高め、現行の少量多頻度運送において見られる採算性の課題解決にも貢献できるのではないかと考えた。

一方で、実証実験で使用した予約インターフェイスでは、高齢者や主婦といった利用者がWebや音声自動応答機能を用いて予約を行うことはデジタル・デバイドの問題があり難しい。したがってオペレータを設置する、あるいは高齢者でも容易に扱える簡易な予約システムを構築するといったことが肝要となる。

今回の実証実験では通勤・通学者を対象とするといった目的から大学関係者の利用が中心となっていた。今後は簡易な予約システムを構築したうえで、地域住民をひろく対象とした実証実験を行い実用化に向けて有用な知見を得たい。

**謝辞：**本研究は、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）およびJST-CREST（独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業）、KACITEC（柏の葉キャンパスシティ ITコンソーシアム）の資金をいただき

ました。システムの実装には株式会社NTTドコモおよびエヌ・ティ・ティ アイティ株式会社のご協力をいただきました。また、サーバ運用には株式会社 長大（現：順風路株式会社）のご協力をいただきました。実証実験を行うにあたり、柏市役所のご助力を賜りました。なお、国土交通省総合政策局交通計画課長 佐々木良様、東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授 原田昇先生からご指導をいただきました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省自動車交通局 [2006], “道路運送法等の一部を改正する法律”。
- 2) 大和裕幸, 稗方和夫, 坪内孝太 [2006], “オンデマンドバス～公共サービスに於けるイノベーション～”, 「日本OR学会学会誌」, Vol. 51 No. 9, pp. 579-586.
- 3) 綾城本祐, 久保田勤, 小島健太, 齊原潤 [2006], “羽田空港アクセス交通需要予約モデルの構築と改善施策の検討に関する研究”, 「運輸政策研究」, Vol. 9, No. 3, pp. 2-13.
- 4) 北井幹雄・後藤浩二・柏倉佳典 [2003], “音声ポータルプラットフォーム ADVICE C3”, 「NTT技術ジャーナル」2003年8月号。
- 5) 大和裕幸, 稗方和夫, 坪内孝太, 山中佑治, 中村康久, 富樫俊文, 齊藤丈仁 [2006], “新しいオンデマンドバスシステムの提案と検証”, 「画像電子学会」, 2006年10月号, pp. 17-24.
- 6) オンデマンドバス実証実験ホームページ  
<http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/demandbus/index.htm>
- 7) Wilcox A, Hripcsak G., [1998], “Knowledge discovery and data mining to assist natural language understanding”. *Proc Amia Symp*, pp. 835-839.
- 8) “C5.0”, <http://www.rulequest.com/see5-info.html>

(原稿受付日 2007年4月16日)

---

## The Evaluation of On-demand Bus System by the Community Test

By Kota TSUBOUCHI, Hiroyuki YAMATO and Kazuo HIEKATA

This paper shows the system development for the practical On-demand Bus introducing the routing and scheduling algorithm. In order to start the service, following functions are implemented, the reservation system on the phone and web, the communication to vehicles, and others. Community test in Kashiwa city shows that the service level of the developed service is lower than existing route bus in Willingness To Pay (WTP) analysis. However, it is confirmed that the satisfaction level of passengers is mostly related with accurate arrival time assignment function and the WTP increases for time-conscious users like commuters.

---

**Key Words :** *On-demand bus, community test, punctuality, data mining*

---