

# 学生の行動モデルを活用した通学支援システムの検討

大植 達也<sup>1</sup> 北上 眞二<sup>2</sup> 清原 良三<sup>1</sup>

概要：イベント会場やバスターミナルなどのバス停で発生し、乗り場の周辺施設やその施設の利用者に迷惑をかける「集中混雑」、その問題を携帯電話を利用している人たちから得られる位置情報を利用し緩和する通学支援システムを提案する。本論文のシステムではバス利用者の中でも着席を希望する利用者に焦点をあて、着席することが可能かどうかの情報を提供する。バスに乗るためにバスを待つという「時間」を担保にして着席するという構図の「時間」を携帯電話から提供される「情報」に置き換えることが出来れば、「集中混雑」を緩和し周辺施設、その利用者などへの迷惑を軽減することが出来る。本論文では、バスの可視化を行う通学支援システムの全体アーキテクチャを示し、シミュレーションを用いて実験し、その効果を評価した。その結果、ピーク時の学生の数が68%、待ち時間が24%改善することが分かった。

## A Study of Helping Commuting Students Based on a Student's Behavior Model

TATSUYA OUE<sup>1</sup> SHINJI KITAGAMI<sup>2</sup> RYOZO KIYOHARA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

現在、「集中混雑」という現象は様々な場所で起こっている。通勤時間帯の電車やバス、テーマパークやイベント会場の開場・閉場前後のアクセス交通機関など、多くの人が同一の時間帯に移動する場面は多く存在する。そのときの移動手段が車であれば、渋滞が発生し、公共交通機関であれば乗り場の混雑が発生する。

年末年始や休暇での帰省であれば、新幹線や航空機の予約が取れない場合、新幹線の自由席やバス、自家用車などほかの手段での移動を行えばよい。しかし、通勤や通学で日常的に公共交通機関を利用している場合には、出社・登校時間に間に合うように朝の早い時間から乗り場に並んで乗車する場合がある。

多くの人が早い時間から並び、乗車しようとするれば、その列は長くなり、通路や商業施設の出入り口などを塞ぐことになり、他人に対して行動の妨害や、不快な思いをさせることになる。

このように集中混雑は、乗り場周辺の施設や通行人の行動妨害や、不快な思いをさせることになるため、可能な限

り解消すべき社会問題である [1][2]。この問題に対して、電車やバスの運行本数を増やす、路線を新たに設けるなど大規模な投資を行い、物理的に解決する方法も存在するが、公共機関の運営側の大きな負担をかけ、時間経過による利用者の増減に対する柔軟な対応が難しく、運営側のリスクが大きい。

本論文では身近な通学環境である厚木バスセンターで起きている「集中混雑」について物理的な解決策ではなく、利用者の金銭的な負担のない予約システムと利用者の位置情報を収集、蓄積することで得られる行動ログの2つを用いることで混雑を緩和するシステムを提案する。また、シミュレーションを用いて評価することで、提案したシステムが学生の行動に対してどう影響を与えるかを考察した。このシステムは利用者の携帯端末から得られる位置情報をサーバで収集、分析し、誘導情報を利用者へ送信するもので、運営側の負担はサーバの構築と運用・保守である、そのため、金銭的な負担が少なく時間経過による利用者の変化にも対応しやすく、混雑や閑散に対して物理的な対応策を講じる際にサーバに収集される情報を元に判断が行えるため、導入リスクが小さく、導入価値の大きいシステムである。

厚木バスセンターから神奈川工科大学に向かう学生向け

<sup>1</sup> 神奈川工科大学情報工学科

<sup>2</sup> 三菱電機(株)

の急行バスには本数に限りがあるため、利用者の多くはバスに乗れず講義に遅刻する可能性を懸念し、早い時間からバス停に列をつくる。またバスの乗車時間は道路の混雑状況によっては30分にもなる場合があるためどうしても着席したい学生も多い。本論文では、バス利用者の中でも特に着席乗車を希望する利用者を対象にバスの混雑状況の可視化と情報を用いた利用者の誘導を行い、バス停に並ばずに、バスに乗車できる。予約システムを提案する。

予約システムの多くは利用者から予約料として金銭を徴収することで利用者の要求を担保する。急行バスの座席に関して同様の予約システムを導入することは利用者が学生であり、日常的に使うシステムであるため、不適切である。

従来の多くの予約システムは主に社会人を対象にしている万人向けのシステムである。しかし、導入を想定している環境が学生しか利用しない環境であることから、学生に特化した予約システムの構築が可能であり、利用者の行動傾向を上手く利用することで金銭を用いずに座席の担保を行うことが可能なのではないかという考えから、金銭を用いずに信頼性、公平性が担保されている学生向けの予約システムを提案する。

また、利用者の位置情報から予約したバスに乗車するには、自宅の最寄り駅から何時発の電車を利用しなければいけないのか、予約したいバスが満席の場合、利用者の行動ログから適切なバスはどのバスなのかといった情報を利用者に提示することで利便性を向上させる。

## 2. 関連研究

「混雑」を解決する研究は様々な分野で行われている。ITSの分野においては中瀬 [3] が渋滞情報の可視化を行い、その情報を提供することで、運転手に対して渋滞を避けた経路案内をし、渋滞が緩和されるシステムを提案している。

歩行者動線解析の分野においては浅原ら [4][5][6] が、歩行者の動線解析を行い、歩行者の行動をモデル化、行動予測や行動パターンの代表例の提示などを行っている。また、浅原らはそのモデルから得られる情報を商業施設での設備の稼働調整、商品の配置変更などの判断材料として利用することが有益であると述べている。上述のように、可視化によって渋滞の緩和や経営判断を行っているため、可視化が有効な手段であると考えられる。

本論文で提案するシステムは、利用者の位置情報と座席予約の情報を組み合わせることで利用者に対して誘導情報を提供する。利用者が持っているいくつかの情報を組み合わせることで新しい情報を利用者に対して提供するサービス、Google Now [7] が2012年6月に発表された。Google Nowとは、Googleのスマートフォン向けプラットフォーム Android 4.1 から実装されており、端末内のカレンダー情報、スケジュール情報、GPSによる現在地情報といった複数の情報と連携し、ユーザがどのような情報を必

要とするかを予測した上で提示するシステムである。

Google Now と提案モデルとの大きな違いは、情報提供を行うための分析に使う情報が特定個人のものなのか、大多数のものなのかである。Google Now は携帯端末に蓄積されている個人の行動情報と天気や渋滞情報を組み合わせることで、目的地への出発時間、天気や気温などから、傘の有無、服装などの個人に特化した情報を自動的に提供するサービスである。

これに対して、本論文のシステムは複数人の行動情報と予約情報を一度収集し、個人に対して全体から導き出された最適な情報を提供するシステムである。このため、Google Now に対していくつかの情報を与えることで Google Now を用いて本論文の目的であるバス停における集中混雑の緩和が行えるのであれば、独自にシステムの構築を行わなくてもよいと考えているが、それを実現することは難しい。理由として以下の2つが挙げられる。

- (1) 利用者が「学生」である
- (2) 予約システムの構築が前提である

1については、システム利用者を学生に絞った場合、3.1節の観察で述べている学生特有の行動心理に対応することが難しく、適切な情報提供ができない。

2については、Google Now には予約機能が搭載されていない。このため、着席希望者の分散を図ることで集中混雑の緩和を目的とした本論文には不十分なシステムである。上述の2つの理由から、Google Now を利用したシステムではなく、独自の予約システムを提案する。

## 3. 現状の観察と仮説

### 3.1 観察

まず、厚木バスセンターの現状調査を実施した。表1に示すように、大学の1限目の授業に間に合う急行バスが13本ある [8]。始発のバスに対しては出発の15分前の段階で既に、長蛇の列ができ上がる。バスセンターには誘導員が配置され、図1に示すように着席を希望する学生が並ぶ列と、立ったままで乗車することを許容する学生が並ぶ列の2種類の列に分けている。このように学生を希望別に分けて並べているが、どちらの列も並んでいる学生の数が多い。

表1 厚木バスセンター調査データ

項目	詳細	
急行バスの本数		8時台:10本 9時台:3本 計13本
急行バスの運転間隔		8:25~9:05は2分~5分間隔
バス亭に並ぶ人数	着席希望者	継続的に30人以上が列を成す
バス亭に並ぶ人数	非着席希望者	バスが来るたびに短くなる

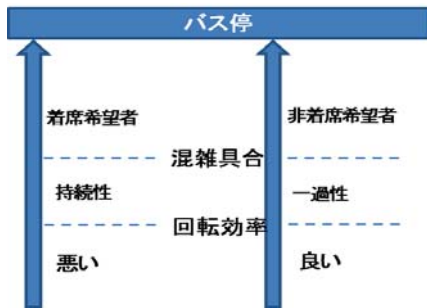


図 1 バスセンターにおける列の比較

急行バスに立ったままで乗車することを許容する学生が並んでいる列に関しては回転効率がよく、バスが来るたびに列の半分の学生が乗車していくが、着席を希望する学生が並んでいる列に関してはバス 1 台あたりの座席数が 25 席と決まっているため、列が短くならず、大勢の大学生の行列が 30 分間バスセンター構内にでき上がる。

少数の学生がバス停に長時間並んでいる場合は、問題にはならないが、大勢の学生が長時間バス停に並んでいる場合は、周辺施設の利用者に迷惑がかかり、クレームが出るほどの問題となっている。

このため、本論文では着席を希望する学生、「着席希望者」の列を分散することによって、バス停付近の集中混雑の緩和を図った。ほかに得られた観察結果として、着席希望者が並ぶ列に関しては 8 時台の始発から 9 時台の最終バスまで並んでいる学生がいるのではなく、途中で列自体はなくなり、空いている座席には立ったままで乗車することを許容する学生が着席する。そのため、現状の着席希望者に対して座席は十分にあると考えられる。

しかし、提案するシステムを導入し、システムを利用することで着席が担保されるのであれば、着席して乗車したいと考える潜在的な着席希望者が現在の立ったままで乗車することを許容する学生の列に多く存在していることも観察結果から考えられる。

表 2 に 12 月に行った 1 限に間に合う急行バスに乗車している学生数の調査結果と急行バス 1 台あたりの搭乗率を示す。観察から得た急行バス 1 台あたりの乗車定員は 55 名で、うち 25 名が着席、30 名が通路などに立った乗車になる。このことから、搭乗率が 45 % に達するとすべての座席が埋まっていることが分かる。表 2 より空席のある

表 2 8 時～9 時における急行バスの搭乗者数と搭乗率 (12 月調べ)

乗車数 (人)	37	43	41	43	45	47
乗車率 (%)	67	78	75	78	82	85
乗車数 (人)	46	45	46	49	48	49
乗車率 (%)	84	82	84	89	82	89

急行バスはないが急行バスの乗車率が 90 % に満たないので急行バスの乗車数の観察を行った 12 月においては、現在運行されている急行バスの容量は急行バスを利用して通学する学生数に対して充分である。

しかし、学内のイベントや就職活動をする学生など、時期によって増減する学生の事を考慮すると全ての時期において、急行バスの容量が十分であるとは言い切れない。

表 1 に示したデータは年度初めである 4 月～5 月に観察した結果であるが、12 月にバスに乗車している学生数を調べた際には混雑のピークが早い時間帯のバスから遅い時間のバスへとシフトしていたため、時期によってバス停が集中混雑する時間帯や学生の行動モデルが変わることも観察から分かった。また、ピーク時間のシフト、乗車数の変化は 1 限目のカリキュラムの影響も受けられていると考えられる。

### 3.2 仮説

現在、着席希望者は早い時間から並ぶことによって「時間」で着席を担保している。将来のバス停の混雑状況が見えず、自身が何時に出発する急行バスに着席することができるのかが明確でないため、登校する学生数が日々変化していても、いつもどおり早めに家を出発することで自身の着席を担保している。このような現状に対してバス停の混雑状況が可視化され、着席希望者が「時間」によって担保していた着席を「情報」によって担保することが可能になると考えた。そこで本論文では、「混雑状況の可視化」によってバス停の集中混雑を緩和することができるという仮説を立てた。

本論文において可視化とは、利用者が着席できる急行バスは何時何分発なのかという情報を明確に利用者に提供することである。

### 3.3 提案システム導入環境の特徴

一般的な予約システムの多くは「予約料」を支払うことによって自身が希望する座席を確保できるものである。しかし、システムを導入することを検討している環境には以下の 3 つの特徴がある。

- (1) 駅と大学間である
- (2) 平日毎日利用するシステムである
- (3) 利用者が学生である

これらの特徴を考慮すると、バスの乗車料金に上乗せする形で予約料金を請求してもシステムは学生に馴染まないため、利用者が増えず予約料金を払わずとも座れる座席が発生し、システムが成り立たなくなる可能性がある。よって、「予約料」を用いない予約システムである。

## 4. 方式検討

### 4.1 前提条件とその妥当性

本研究では提案するシステムに関して、システムの利用者が以下の4つの前提条件を満たしている。

- (1) 全員が携帯電話を保持している  
スマートフォンだけではなく、従来の携帯電話もサポートすることにより携帯電話（スマートフォンも含む）の普及率から妥当である [9]。
- (2) 着席したい人が全員システムの入力要求に応答する  
利用者によって妥当性が大きく変わってくる条件であるが、本論文では「神奈川工科大学に所属する学生」という不特定多数ではなく、特定多数に対するアプローチであるため、妥当である。
- (3) ID の情報提供を許可する  
端末側からの情報取得を朝の特定の時間のみすることで個人への干渉を少なくし、ID を用いて取得した情報をバス着席の可視化システムにのみ使うことを利用者に対して明確に提示することで承諾して貰えるため、この条件も妥当である。
- (4) バスの座席が着席希望者に対して十分である  
3.1 節の観察でも述べたように、現状は妥当である。

### 4.2 学生の行動心理と予想される課題

「学生の行動心理」の中でも、朝の登校時に限って成り立つ「学生」の3つの心理に注目した。

- (1) 講義に間に合うのであればできるだけ遅い時間のバスに乗車したい
- (2) ある程度長い時間バス停に並んでも着席してバスに乗車したい
- (3) 一度予約した座席に座れなくなった場合、キャンセルを行うのが面倒臭い

#### 4.2.1 できるだけ遅い時間のバスに乗車したい

できるだけ遅い時間のバスに乗車したい心理に関しては3章の観察結果である、学生がバス停に集中する時間が遅い時間帯に集中していることから得られた考えである。この行動心理から予約システムを導入した場合、予約が遅い時間帯に集中することが予想される。単純に着席希望者を早い時間のバスから詰め込むのであれば、前からの詰め込みになるが、上述の予想から、遅い時間帯のバスからの詰め込みとなる。

図2の前からの詰め込みに示す方式で座席を学生に分配していく場合には、遅い時間帯のバスに空席があるため、早い時間帯のバスの座席を予約した学生が他の移動機関での問題により予約したバスに乗車できなかったとしても、

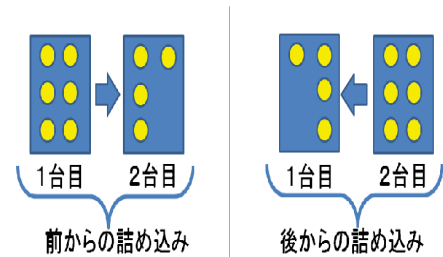


図2 前、後からの埋め込み問題の比較

遅い時間のバスに乗車することで、講義に間に合わないなどのリスクを負う必要はない。

しかし、図2の後ろからの詰め込みに示す方式で学生に座席を分配していく場合、学生が予約した時間のバスよりも遅い時間のバスに空席がない場合が多い。そのため、バスに乗車できず、講義に間に合わない学生が生じる。

提案システムでは、遅い時間帯のバスに予備席を設けることで、上述の問題に対応する。この予備席は当日必要がないことがわかった時点で学生への分配を行う。

#### 4.2.2 着席のため、長い時間並ぶことを許容する

着席のため、長い時間並ぶことを許容する心理については登校用のバスではなく、下校用にバスに乗車する学生を観察したことから得られた考えである。夕方、駅前に向かうバスを待つ学生の多くには、「満席ではあるが空間的に余裕があり、立ったまま乗ることができるバスを見送って10~15分後のバスに着席乗車する」という行動が見られた。

このような行動の背景には、大学と駅前を結ぶバスが道路の混雑状況によっては乗車時間が30分以上になることが挙げられる。また、学生は社会人などと違い、時間にある程度の余裕があるため、時間よりも着席を重視する傾向にある。

このため、バス停付近には大勢の学生が30分間長蛇の列を成していた。この行動心理から、4.2.1で述べた予備席や4.2.3で述べる突発的な空席を「測位データに基づいてバス停の近くにいる学生に分配する」というシステムの構築を行うと、この空席を目的とした列が朝のバス停でも起きることが十分に考えられる。

しかし、それでは本論文の目的であるバス停の混雑緩和と相反するシステムとなってしまうため、当日の空席分配に関しても学生がバス停に集中せずに分散させることのできるシステムである。

#### 4.2.3 面倒なのでキャンセルを行わない

面倒なのでキャンセルを行わない心理については提案する予約システムにおいて利用者に金銭的なペナルティを課していないことから生じると考えたものである。一般的な

予約システムは、予約した座席を利用しなくても、キャンセルを行わないと利用者から金銭を徴収する。しかし、3章で述べたように学生が日常的に使うサービスにおいて金銭的な負担が発生するとシステムが普及しないと判断した。そのため、提案システムには座席料が存在しない。この結果、提案する予約システムには座席予約を行った後、都合が悪くなり、当日その座席に座れないときに「キャンセル」を促すシステムが存在しない。

料金を徴収することによってキャンセルを促すシステムは多く存在するが、本論文では利用者から料金を徴収せずに、学生の携帯端末から得られる位置情報を元に、明らかに予約したバスに乗車する意思がない行動をとっている学生に対してはシステム側で強制的に予約をキャンセルする機能を実装することで、学生に金銭的な負担を強いることなく、誰も座る予定のない座席を最小限に留めることが可能である。

## 5. 提案手法

### 5.1 提案手法概要

図3に示すように新幹線やグリーン車を有する通勤電車において、自由席と指定席の違いは座席を時間で担保するのか、金銭で担保するのかの違いである。電車と違い、車掌のような指定席に座っている乗客を管理する人がいないため、夜行バスなどを除く路線バスには金銭で着席を担保するシステムは馴染まないことが考えられる。

本論文では、金銭による座席の担保を行わず、バス停の

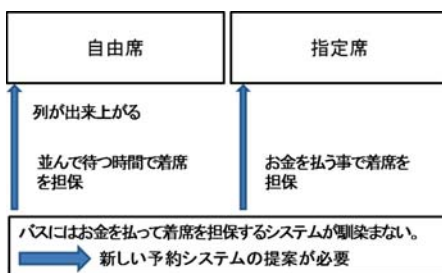


図3 自由席と指定席の違い

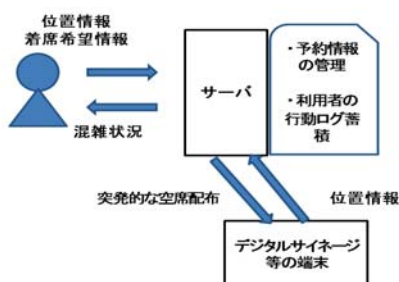


図4 提案方式

集中混雑を緩和する予約システムについて述べる。提案するシステムは図4に示すように、学生から朝の時間に限って位置情報を取得する。また、着席希望者に前日の夜までに急行バスの座席の予約を行ってもらう。

着席希望者が座席の予約を行うことで、バス停に向かう時間の分散を図る。また、位置情報を収集しているため、着席希望者の最寄り駅から何時発の電車に乗ると予約したバスに乗車することができるのかといった誘導情報を提供することで、学生の利便性を向上させるとともに、システム側で予約を強制キャンセルする時間を明確にする。また、病欠やバス停までの公共交通機関の混雑・不通によって当日突然空席が発生することが考えられる。この空席に対して対策を行わないと、この空席を期待してバス停に列ができ上がってしまうことが予想される。この問題に対しては、5.3節にて対応策を述べる。

### 5.2 位置情報取得手法

着席希望者の位置情報を得るために、利用者の現在の位置を計測し座標値に変換する機能を持つ測位装置としてGPS(Global Positioning System)を用いる。測位装置によって得られる利用者の位置と、位置が計測された時刻を対応付けたデータを測位データと定義する。

測位データは近年様々なサービスで利用されており、ユーザが測位データの送信に同意すると、測位データに基づいた最適な情報が提供されるサービスも増えている。本論文ではこの測位データを蓄積することによって着席希望者がバスに乗車するまでの行動傾向を把握することができ、行動傾向に基づいた情報を提供することができる。

この測位データに加え、着席希望者から1週単位で翌週以降の乗車を希望するバスを指定してもらう。位置情報と予約情報の2つを組み合わせることによって、着席希望者を着席可能なバスへ誘導する。着席希望者の誘導を行うことで、誘導がない予約システムに比べて着席希望者が提案システムを利用する価値が高まり、バス停の混雑緩和への効力も強まる。

提案システムではWi-Fiスポット[10]による位置情報もGPSと合わせて利用する。Wi-Fiスポットは着席希望者が予約したバスに間に合う電車に乗ったかを判断する時と、当日キャンセル分の座席を希望する学生を駅周辺施設に分配するために利用する。

屋内ではGPSの精度が低下するため、屋内の位置情報は精度が低い等の問題もあるが、携帯端末の通信量の増加に伴い各キャリアがコンビニエンスストアや喫茶店などの施設にWi-Fiスポットを設置する動きが活発になってきている。このWi-Fiスポットを利用することでGPSが利用できなくとも、駅周辺の施設内に着席希望者がいるかといった情報は容易に取得することができるようになってきている。

### 5.3 当日空席分への対応アルゴリズム

単純にバス停の近くにいる学生に対して当日空席分を配布するというアルゴリズムを構築すると、これを目的とした行列ができる可能性がある、駅付近の特定の施設にいる学生に対して当日空席分を分配するアルゴリズムを以下に示す。

突発的な空席に着席を希望できるのは、その日にシステムを利用して座席の予約を行っていない学生、すなわち、朝の時間帯に位置情報を取得されていない学生に限る。理由としては、予約に間に合わなかった場合やペナルティを課されている学生でもこの機能を利用することで座席に座ることができてしまうと、システム全体のバランスが崩れ、「とりあえず予約する」学生が増え、予約入力量の増加に繋がるからである。

また、対象となる駅周辺施設は厚木バスセンターから徒歩10分圏内の場所に限定する。10分前で区切ることによって、システム側が強制キャンセルを行う時期が着席希望者によって予約されているバスの発車時刻10分前になり、予約した学生の最寄り駅に誘導情報とおりの時間に着かなかったことを条件にキャンセルを行うよりも、位置情報取得の誤差などもあるため、間違った強制キャンセルを減らすことができる。

このようなアルゴリズムを構築する理由が2つある。

#### (1) バス停付近の行列を解消

単純にバス停の近くにいる学生に対して当日空席分を分配すると、これを目的とした行列ができあがってしまう。

#### (2) 拡張性、実現可能性の向上

駅周辺にあるコンビニや喫茶店などを情報端末設置の対象とした場合、以下に示すようなビジネスモデルが描けるといえる利点がある。

提案アルゴリズムは学生を施設に誘導するため、その施設を学生が利用することで施設の利益につながるが見込める。そのため、施設側も本システムに協力的になり、学生側へのシステム利用の付加価値の提案も行える。

このように「システム对学生」に限られた範囲におけるシステムの構築に止まらず、駅周辺施設を巻き込むことでより大きな価値を生み出すことのできる拡張性に優れたシステムを構築することができる。また、利用価値の最大化を行うことで、学生が利用しない机上の空論のシステムではなく、学生に利用して貰えるシステムを構築することができる [11]。

### 5.4 5.4 予約キャンセルへのペナルティ

提案システムは予約によって、座席配分を行うため、座席を予約した学生がキャンセルをしないと予約しなくても

座れる席ができてしまう。提案システムを利用して座席の確保を行わなくても、急行バスに座れるのであれば、学生が提案システムを利用することで得られるメリットがなくなる。提案システムは、学生によって入力された情報を基にして急行バスの座席を分配するシステムであるため、急行バスに乗車する学生の中にシステムを利用している学生と利用していない学生が混在することは避けるべきである。

そこで、システム側から強制的に予約をキャンセルするとともに、ペナルティを課すことで4章でも述べた「キャンセルを行うのが面倒臭い」という学生の心理に対応する。

誘導情報として、システム側から学生に対して最寄り駅から何時何分発の電車に乗らなければ間に合わないかを提示する。誘導情報と利用者の携帯電話から取得する位置情報を利用して、予約したバスに間に合う電車に乗らなかった場合には、システム側で強制的に予約をキャンセルする。

予約を強制的にキャンセルするだけでは、「予約を放置しても勝手にキャンセルしてくれるからいいや」と、とりあえず予約だけを行うユーザが増えると考えられる。そこで、強制的に予約をキャンセルされた利用者に対して一定のペナルティを課すことを検討した。

表3に示すように予約の形態によってペナルティは様々である。提案した予約システムでは、システムの利用権限を規制することをペナルティとする。具体的には、強制キャンセルの対象となった着席希望者に対しては、予約が集中すると考えられる遅い時間帯のバスの予約が行えない規制を設ける。このようなペナルティを設けることで予約量が規制され、特定の人物による座席の独占ができなくなるため、公平性が保たれる。

しかし、強制キャンセルの対象になるということは時間にルーズな学生であることが考えられる。このことから、早い時間帯のバスに時間にルーズな学生が集中し、突発的な空席が発生しやすく、予約システムを利用していない学生でも容易に着席することのできる環境が構築され、本システムが遅い時間帯のバスにのみ有効な予約システムとなってしまうことが予想される。

しかし、これらの問題点を考慮したとしても、現状、早い時間にでき上がる長蛇の列が大きな問題であるため、早い時間から何人が予約によって遅い時間にバス停に訪れるように誘導することで、並ぶ人数を分散し、集中混雑を緩和することができる。と考える。

表3 様々な予約システムにおけるペナルティの比較

	予約入力量	着席の担保	ペナルティ
提案モデル	膨大な量	情報	システム利用制限
電車 航空機	必要最小限の予約	料金	料金
テーマパーク	システム側で制限	時間	

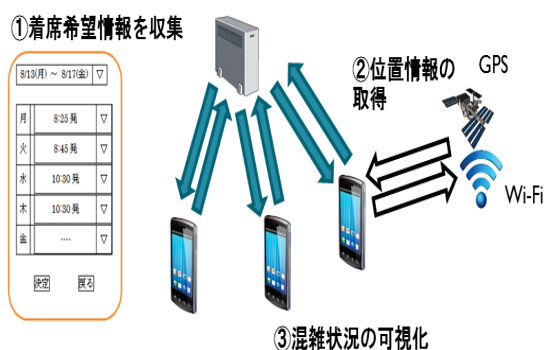


図 5 システム構成図

## 6. システム構成

5章の提案に基づき、FeliCaを搭載したAndroidスマートフォンを用いた通学支援システムのシステム構成図を図5に示す。

スマートフォンを用いて学生から着席希望情報と位置情報を収集する。GPSが利用できない場合はWi-Fiアクセスポイントから大まかな位置を特定する。

サーバにはGoogle App Engineを用いた。理由としては提案した通学支援システムでは利用者にIDを付与するので、Google IDを用いた利用者管理ができること、システムを同時に利用する人数が最大でも1000人に満たないことが予測されるため、Google App Engineでも十分に処理しきれる量のトラフィックであることが挙げられる。

提案した通学支援システムを利用する学生数は、3.1節の表2に示した観察結果から、574人であることがわかる。しかし、今後の利用者の増減を考慮すると、1000人の同時利用に耐えられるGoogle App Engineは提案した通学支援システムに適切である。

図5に示すように着席希望情報から、着席希望者の座席予約を行う。ここで特定のバスに希望が集中した場合、GPSを用いて取得した朝の時間帯の過去の行動ログを参考にし、行動スタイルに最適な代替りのバスを推奨する。

提案したシステムでは、毎日、朝の通学時間帯に限って位置情報を収集している。この時間帯の位置情報から分かることは、何時に家を出て、最寄り駅から何時発の電車に乗るのか、過去、予約した急行バスに間に合わない率が高いのか、時間にゆとりをもって予約した急行バスに乗車しているのかである。

上述の要素から、学生が予約しようとした急行バスが満席の場合、特定の時間の急行バスには予約しても間に合わないことが多いといった傾向が見られる学生には遅い時間帯のバスを推奨し、普段から時間にゆとりをもって急行バスに乗車している学生には早い時間帯のバスを推奨する。

当日の朝はGPSとWi-Fiアクセスポイントを用いて学

生の現在位置から最寄り駅を何時何分に発車する電車に乗るべきかを誘導する。これらの誘導に学生が従わず、最寄り駅に指定の時間までに到着しない場合、サーバ側で判断し自動キャンセルを行う。

サーバ側での自動キャンセルは、誘導情報で示した電車に乗ったかどうかをGPSやWi-Fiアクセスポイントを用いて位置情報から判断する。自動キャンセルについては、位置情報から学生が駅にいないことが確認できた場合、即時に行うのではなく、予約した急行バスの発車10分前に行うことで、位置情報の誤差などによる間違った自動キャンセルが発生することを防ぐ。

当日突発的に発生する座席に関しては駅周辺施設(コンビニエンスストアや喫茶店など)に情報端末を設置し、デジタルサイネージ端末や、コンビニに設置されている端末にタッチした学生に対して配布する。

駅周辺施設のデジタルサイネージ等の情報端末にタッチした以降から位置情報の取得を開始し、突発的な空席を配布されていない場合に施設から外に出た場合には、空席待ちをキャンセルしたとシステム側で判断し、位置情報の取得をやめ、空席配布の候補からも除外する。

上述のようなシステムを構築することで、学生をバス停から分散させることができる。また、端末の消費電力軽減を図るため、位置情報の取得開始をデジタルサイネージ等の情報端末にタッチした以降からとする。

## 7. 実験と評価

### 7.1 実験の目的と条件

本実験の目的は提案したシステムを現実世界に導入したとき、学生に意図したとおりの影響を与え、集中混雑の緩和ができるかをシミュレータ上で評価することである。もし、提案したシステムの導入によってバス停の待ち行列が解消されるのであれば、バス停で待っている学生の数分散されると考えられる。そこで、シミュレータ上に現在のバス停と同じ環境を構築し、予約システムが導入されていない場合と、導入されている場合の2つの状況をシミュレートし、評価した。

表4に本実験で用いたデータを示す。提案した通学支援システムがバス停における学生の待ち時間にどのような影響を与えるかシミュレーションを通して評価するため、NetLogo[12]を用いた実験を行った。

NetLogoはマルチエージェントベースの教育用シミュ

表 4 実験データの概要

項番	項目名	内容
1	データ内容	バス亭における学生の待ち時間
2	学生数	600名
3	想定環境	厚木バスセンター
4	想定時間	8時~9時の1時間

レータであり、現象のモデル化が容易に行える。

本シミュレーションでは、エージェントを決められた4つの座標に同じ数ずつ設置する。その4点から、バス停のある中心部に向かって進み、そこで着席希望者と非着席希望者の2つ列に分かれて並ぶ。このシミュレータには学生がバス停で並んで待っている時間と待っている学生数を記録し出力する機能があり、待ち時間と待ち学生数という観点からバス停の集中混雑が緩和したかどうかを評価することができる。

本論文では、朝8時~9時までの1時間分のシミュレーションから得られた結果を評価の対象とした。3.1節の観察でも述べたように、現状、バス停付近に長蛇の列ができるのは、1時限目に間に合う急行バスが運行している8:20~9:05の間でも早い時間帯であること、遅い時間帯になると着席希望者の列がなくなることから、8時~9時までの1時間が提案した通学支援システムで改善すべき時間であると考えたため、シミュレーションの対象とした。

## 7.2 評価指標

本論文で課題として扱っている「集中混雑の緩和」の評価指標には以下の3つが挙げられる。

### (1) 利用者の待ち列の長さ

5,6人の学生が並んでいるのであれば、周辺施設や通行人に対して悪影響を与えることもないが、現状ピーク時には100名を超える学生が並んでいる。本論文では、周辺施設や通行人に悪影響を与えないのは並んでいる学生の数がいくつまでの場合なのかを定義し、それを目標としてシステムの構築を行うのではなく、ピークが早い時間帯か遅い時間帯のどちらかに偏っているため、学生を分散し、ピーク時の列の長さを緩和するシステムの提案を行った。そのため、評価についてもシステムを導入することによって、ピーク時の学生が分散し、着席希望者の列の長さが短くなったかについて評価した。

### (2) 利用者の待ち時間

1と同様の性質を持っている評価指標であり、現状も1と同じくピークがあるため、そのピーク時の待ち時間を短縮するシステムの構築を行い、その点について評価を行った。また、待ち時間に関しては、全体の待ち時間の総和という観点から評価を行うことで、ピーク時だけでなく、評価対象である8時~9時の1時間において、どれだけ待ち時間が短縮できたかについても評価した。1と2の評価指標に関しては客観的な要素であり、評価しやすい。また、この2つは相関関係にあり、利用者の待ち時間が長ければ列は長くなり、利用者の待ち時間が短ければ列の長さも短くなる傾向にある。しかしこの関係性は列全体を評価の対象にした

場合に言える規則であり、評価の対象を利用者個人にした場合にはこの規則は当てはまらない。例えば、個人を見た場合、列の先頭に並んでいる人と最後尾に並んでいる人で同じバスに並ぶ場合は待ち時間に差が生じる。

### (3) 利用者の満足度(アンケート等、利用者の主観的)

上述の理由から、評価を行おうとすると上述のようなことが発生し、同じバスを予約した利用者間で待ち時間に違いが生じるため、同じバスの利用者どうしても、それぞれの評価に差が出てしまう。提案した予約システムを導入することで評価指標の1と2では改善が見られたものの、3については改善が見られないといった結果になる可能性がある。

本論文の目的は利用者の満足度向上ではなく、列が短くなり、今まで周辺施設や通行人に悪影響を及ぼしていた要素が排除されることである。また、3についての評価は利用者にアンケートを採るなど、主観的な評価になる。

利用者による主観的な評価も必要であるが、本論文において想定している利用者が学生であるため、アンケートを採るよりも先にシミュレーションによって前評価を行っておくべきだと考えた。

以上の理由から実験においても1と2の評価指標に基づいて評価を行った。

## 7.3 結果と考察

図6に、時間ごとのバス停に並んで待っている学生の数について評価した結果を示す。図6に関しては横軸が時間、縦軸は並んで待っている学生数を意味する。

現状、多くの学生が早い時間に集中して登校しているため、待ち学生数の最大値が8:15の時点で146人となっており、待ち学生数が100人を越える時間も8:15~8:25に渡っている。厚木バスセンターから出発する始発バスが8:25のため、8:16を境に待ち人数が減っている。

これに対して、システム導入時は着席希望者が座席の予約を行っているため、ピークの時間が早い時間帯から動い

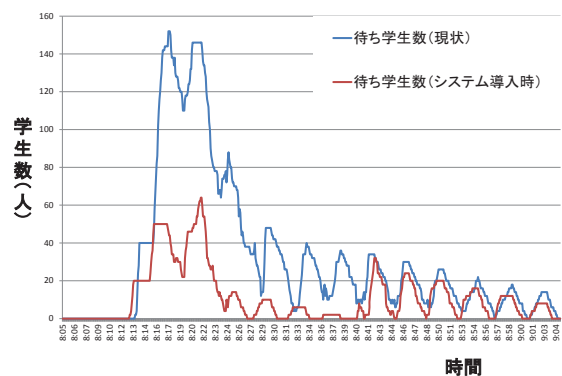


図6 バス停における待ち学生数



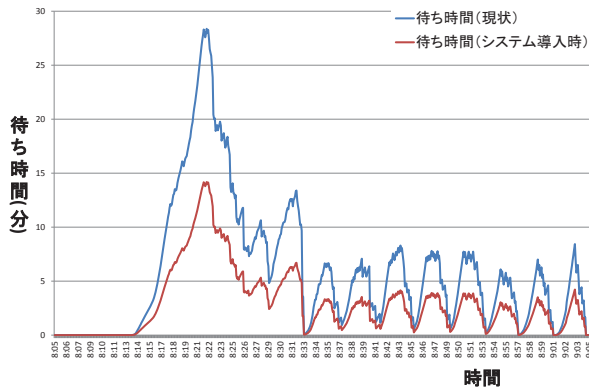


図 7 バス亭における待ち時間

ていないものの、待ち学生数の最大値が 64 人に減っている。また、現状 100 人以上の学生が並んでいる 8:15～8:25 の時間帯の学生数は 50～60 名に収まっている。

提案システムを導入した場合、8:35 以降にバスセンターを出発するバスではバスが 1 台発車することに並んでいる学生数が 0 になっていることも読み取れる。

以上のシミュレート結果から、予約システムを導入することによって、現状早い時間帯にあった 100 名以上の学生が並んで待つ状況を解決することが可能であると考えられる。

現状は早い時間帯に一気に登校した学生が、バスが来るごとに減る様子がグラフから読み取れるが、システム導入後は着席希望者が予約したバスが来るごとに登校しているため、登校する学生をうまく分散することが可能であることもシミュレーション結果から読み取れる。

次に図 7 に学生のバス亭における待ち時間について評価した結果を示す。図 7 に関しては横軸が時間、縦軸が学生の待ち時間を意味する。

待ち時間(現状)のグラフの形は待ち学生数に関する評価を行った場合のものと似た形になった。システム導入後は学生が分散されているため、待ち時間も早い時間帯に長い時間待つ学生が減った。

待ち学生数に関しては予約システムの導入によって、ピーク時の待ち学生数が 68% 軽減されたが、待ち時間に関してはピーク時の待ち時間の軽減が 23% に留まった。

この結果から、並んでいる学生を分散させることによって列の長さを短くすることは容易であるが、待ち時間に関しては、いくら列の長さを短くし、学生を分散させることができたとしても、列の先頭の学生と最後尾の学生では待ち時間に差が生じる。

提案システムでは学生にバスの予約をしてもらい、予約したバスに乗車する日の朝、自宅から最寄り駅で電車に乗るまでの誘導は行うが、これの誘導情報は予約したバスに間に合うデッドラインを示したもので、誘導情報が示す電車よりも早い時間の電車に乗り、バス亭に向かう学生も存在する。

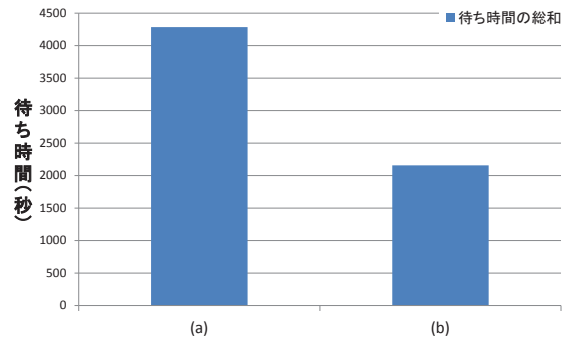


図 8 バス亭における待ち時間の総和比較

本論文の提案はバス停に向かう時間を分散することを目的としたものだったが、上述のことから、待ち時間をより短くするためには学生がバス停に付く時間を制御しなければ、今回の結果よりも待ち時間を改善することは難しいと考えた。

次に図 8 に 8 時から 9 時までの 1 時間における学生の待ち時間の総和について現状 (a) とシステム導入時 (b) に示す。最大値に関しては大きな変化が見られなかったが、総和については、現状に比べてシステム導入時には約 50% の待ち時間軽減につながっている。

ピーク時の待ち時間に関しては現状比 23% の軽減だが、全体の待ち時間の総和に関しては現状比 50% の軽減であることから、提案システムはピーク時の待ち時間の軽減よりも、全体の待ち時間の軽減に効果的であると言える。

## 8. 今後の課題

### (1) 非着席希望者に対するアプローチ

本論文では、着席希望者の行列の混雑緩和を目的としてシステムの提案を行った。着席希望者の行列の混雑を緩和することで待ち時間を軽減することができた。しかし、待ち時間が 0 になった訳ではない。7 章の実験で示した待ち時間の改善をより効果的なものにするため、非着席希望者に対しても混雑状況の可視化が必要である。着席希望者と同様に予約システムを導入すべきなのか、急行バスや非着席希望者の行列の混雑状況を可視化するだけで一定の効果が得られるのかなどの検証も含め、検討が必要である。

### (2) カリキュラムが学生に与える影響

1 限目の講義に間に合う急行バスを対象に提案、実験、評価を行った。この急行バスを利用する学生の多くは、1 限目の講義に出席するために、8 時～9 時の急行バスに乗車している。つまり、1 限目の講義数を調節することで、この時間帯の混雑を緩和することができる。カリキュラムと学生の朝の行動の関係について、検討が必要である。

(3) 誘導情報が自宅から最寄り駅のルートに限られている。提案したシステムは、学生が自宅から最寄り駅まで移動し、そこから電車に乗って本厚木駅へと向かう経路しか考慮していない。この経路のみの場合、予約した急行バスに対して間に合うようにタクシーなどの手段を用いて、バス停まで移動した場合、強制キャンセルをどう機能させるのか、検討が必要である。

(4) 潜在的な着席希望者への対応

7.4 節においては、着席希望者数を 8 時~9 時に急行バスを利用する学生数のうちの 45 % であると定義した。急行バスに座って登校できるのであれば、学生のほとんどが着席を希望することが考えられる。そこで、本論文において提案したペナルティも含め、どのように着席を希望する学生に対して利用権限を譲渡するのも検討が必要である。

## 9. おわりに

本論文ではシミュレーションで生成されたデータに提案方式を適用し、シミュレーション上の学生の行動にどのような影響を与えるかを評価した。その結果、朝のピーク時における待ち学生数が 68 %、待ち時間が 24 %、待ち時間の総和が 50 % 改善された。これにより、提案方式による混雑緩和は適切であったと考えられる。

今回の実験ではシミュレーションによって生成された仮想的なデータを用いたが、実測データでは位置情報の誤差や、学生の例外的行動などがありそのまま提案方式を適用することが妥当であるとは限らない。今後は実測データを収集して提案方式の妥当性を評価することにより新たな課題を明確化し、提案システムを実用化するためのさらなる改善を推進する予定である。

また、今回は主に GPS や Wi-Fi スポットといった測位装置を用いたモデルを提案した。しかし今後、駅周辺に限らずコンビニエンスストアなどにデジタルサイネージが普及することが期待できる。これらが普及することで、消費電力やプライバシーの問題が発生する GPS や Wi-Fi スポットなどの従来の測位装置ではなく、消費電力が少なく、端末からの情報提供が利用者の意思によるものであると明確な NFC などを用いることが可能になる。情報提供の形に関しても携帯端末に情報を表示することを主としているが、情報表示の主をデジタルサイネージとすることで携帯端末の負担を軽減することも可能になる。

Google Now のように利用者である学生に関係する様々な情報と提案したシステムとを連携することも可能である。例えば、時間割と連動することによって、学生がその日に乗るべきバスを自動で提示することや、教授側に今回のシステムが収集した情報を提示することで朝の段階で、講義への参加学生数がある程度わかるため、配布資料の印刷枚数の調整が行えるなどの拡張性を備えている。

そのほかにも、今回問題視しているバス停の混雑緩和を物理的に解決するため、バス会社に対して本システムが収集した情報を提示することにも大きな価値があると考えられる。

## 参考文献

- [1] 岩倉成志：東京圏の大規模事業所立地と通勤問題，国際交通安全学会誌 Vol. 25 No. 3
- [2] LIBERTAS「首都圏の通勤混雑の 2 つの要因」<http://www.libertas.co.jp/report/20110415congestion.html>
- [3] 中瀬裕多，日江井太郎，清原良三，齋藤正史，神戸英利：車載スマートフォンにおけるプローブデータ圧縮方式，情報処理学会研究報告 Vol. 2012-ITS-50 No. 10
- [4] 浅原彰規，丸山貴志子，佐藤暁子：混合マルコフモデルに基づく歩行者動線解析方式，情報処理学会論文誌 Vol52 No. 1 187-196(Jan, 2011)
- [5] 浅原彰規，佐藤暁子，丸山貴志子：混合自己回帰隠れマルコフモデルによる歩行者行き先予測，情報処理学会論文誌 Vol53 No. 1 342-351(Jan, 2012)
- [6] 浅原彰規，寺本やえみ，丸山貴志子：PFLOW データを用いた主動線抽出方式の比較評価，マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム，平成 24 年 7 月
- [7] Google Now : <http://www.google.com/landing/now/>
- [8] 神奈川中央交通：「厚木バスセンター・神奈川工科大学」急行バス時刻表 <http://dia.kanachu.jp/bus/timetable?busstop=19001&pole=2&pole.seq=2&apply=2012/09/21&day=1>
- [9] 日経 BP コンサルティング調べ「携帯電話・スマートフォン“個人利用”実態調査 2012」<http://consult.nikkeibp.co.jp/consult/news/2012/0726sp/>
- [10] 梶克彦，河口信夫：UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤，情報処理学会論文誌 Vol. 52 No. 12 1-11(Dec. 2011)
- [11] 高梨郁子，菅沼優子，久永聡，田中敦，田中聡：インタラクティブデジタルサイネージシステムと携帯電話による歩行者誘導，情報処理学会研究報告 2006-ITS-28(10)(2007)
- [12] NetLogo <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>