

スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発*

伊藤 昌毅^{†a)} 川村 尚生^{†b)} 菅原 一孔^{†c)}

Development of an Automatic Vehicle Location System Using Smartphones*

Masaki ITO^{†a)}, Takao KAWAMURA^{†b)}, and Kazunori SUGAHARA^{†c)}

あらまし 本論文では、走行中の路線バスの位置情報を取得するバスロケーションシステムの開発について述べる。バスロケーションシステムは、バス停においてバスの到着を知らせるなど公共交通の利便性を高めるために用いられているが、運用コストの問題で小規模な都市での実現は困難である。本論文では、スマートフォンを車載器として利用することで、導入や運用コストを抑えたバスロケーションシステムを実現した。開発システムは、バスの位置情報をユーザに提供するだけでなく、既に運用中のバスや鉄道の経路案内サービス「バスネット」と連携することで、バスの遅れを考慮した経路探索を実現するなど、公共交通の利便性を高める情報基盤として機能している。開発したバスロケーションシステムは、鳥取県のバスを対象に運用を続けており、アクセス数などの運用状況やそこから得られた知見についても紹介する。

キーワード 位置情報, ITS, 公共交通, 産学官連携

1. ま え が き

情報技術は様々な応用領域と結びつくことでその領域の飛躍的な発展を実現しているが、公共交通分野も大きな可能性をもった応用分野であり[1]、現在も活発な研究開発が進められている。都市において公共交通は誰もが利用する重要な移動手段であり、いかに大量の人を、速く、快適に移動させるかを目指して活発な新技術の導入が進んでいる。一方で、地方においては公共交通の衰退が言われて久しい。モータリゼーションや過疎化、高齢化の進展により公共交通の利用者は年々減少し、鉄道やバス路線の廃止や便の減少が進んでいる。現在は、公的な補助金でようやく維持できている路線も少なくない。そうした中で、公共交通への新技術の導入などの投資も難しくなっている。環境問題や交通渋滞などの観点から公共交通の利用を呼びかける施策も行われているが、全体としての衰退傾向に歯止めはかかっていない。

本論文では、特に路線バスの現在位置をリアルタイムに追跡し、利用者や事業者に有益な情報を提供するバスロケーションシステムに注目し、導入や運用に十分なコストを掛けられない地方都市における実現事例として、スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発と運用について述べる。バスロケーションシステムは、多くの大都市で導入されており、渋滞や事故などで遅れがちなバスの待ち時間を正確に知らせることでその利便性を高めている。また、正確なバス走行データの分析結果を事業分析やダイヤ改正などに利用することで、公共交通サービスの継続的な改良にも役立てている。しかしこれまで公共交通が衰退した地方都市ではこうしたメリットを享受できなかった。

本論文では、スマートフォンを車載器として利用するバスロケーションシステムを鳥取県において開発、運用し、その実現可能性を実証した。更に、公共交通の利便性を高める情報基盤として活用し、バスや鉄道の経路案内サービス「バスネット」においてバスの遅れを考慮した経路探索を実現した。そのシステムの詳細や、そこで得られた知見を整理し、議論する。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では一般的なバスロケーションシステムとその課題を述べ、3. で開発したスマートフォンを利用したバスロケーション

[†] 鳥取大学大学院工学研究科, 鳥取市

Graduate School of Engineering, Tottori University, Tottori-shi, 680-8552 Japan

a) E-mail: masaki@ike.tottori-u.ac.jp

b) E-mail: kawamura@ike.tottori-u.ac.jp

c) E-mail: sugahara@ike.tottori-u.ac.jp

* 本論文はシステム開発論文である。

システムの概要や特徴、詳細な機能を説明する。4. にてバスロケーションシステムを応用して開発したサービスを紹介し、5. においてシステムの運用状況やそこから得た知見を述べる。6. において関連研究を、7. において今後の課題を説明し、8. において本論文をまとめる。

2. バスロケーションシステムとその課題

2.1 これまでのバスロケーションシステム

鉄道、路線バスなどの公共交通機関は社会を支えるインフラとして高い信頼性が求められており、空間的な網羅性、大量輸送による効率性や安全性、予定通りに運行される定時性などが期待されている。しかし、特にバスは渋滞や工事などの交通状況、降雨や積雪といった天候、乗降に掛かる時間など定時運行に影響を与える外部要因が多く、ダイヤ通りの運行が難しい。こうした要因を考慮して時刻表を作成してはいるものの、大きな遅れが生じることも珍しくない。このため、情報通信技術による交通の高度化を目指す ITS (Intelligent Transport Systems) [2] の一環として、バスの位置を把握し情報提供するバスロケーションシステムが研究されてきた。

バスロケーションシステムとは、運行中のバスの位置情報を収集し、利用者や事業者提供システムのことであり、バスの到着予想時刻を案内することで待ち時間の不確実性が原因となるストレスを減らし、利便性を向上することを目指している。最初期の例は1970年代のイギリスのものであり、日本では、1977年度から運輸省が中心となりバスの到着予告の表示や運行間隔のコントロールを目的とするバスロケーションシステムの導入が始まった[3]。当初は、バスの位置を路上の感知器やバス停との無線通信で検知し、情報は電話回線や業務無線を通して収集していたが、現在ではGPSを利用した位置取得や、携帯電話やPHS回線を利用した情報収集が主流となり、バス停での接近情報の提供だけでなく、インターネット[4]や携帯電話への情報提供も進んでいる。現在はバスロケーションシステムは商用サービスとしていくつものITベンダより提供されており、ソフトウェアのパッケージ化やASPとしてのサービスの提供などその提供形態も進化している[5],[6]。既存のスマートフォンを用いた車載器の採用[7]など、低コストでの導入を目指す事例も出てきているほか、通園、通学バスなどへの適用など、公共交通機関以外への応用も始まっている。

2.2 バスロケーションシステムの問題

路線バスのためのバスロケーションシステムは、2.1 に挙げたように既に商用サービスが複数存在しているが、規模や経済的基盤が十分ではない地方の公共交通事業者にとって以下のような問題が残る、導入が容易ではない。

2.2.1 導入や運用コストの問題

既存のバスロケーションシステムのほとんどは、車内アナウンスや行き先表示などと連動する専用車載器を前提としており、そこにGPSや3G回線による通信装置などを追加している。こうした機器の導入には、バス車載システムを一括して更新する必要がある。車載器にスマートフォンを用いたシステムも提案されはじめているが、路線情報や時刻表を前提とせず、位置情報を共有するだけの簡易なものがほとんどである。また、多くのバスロケーションシステムはダイヤ編成機能や配車管理機能などを備えた総合的なバス運行業務支援システムの一環として提供されているが、こうした大規模な運行業務支援システムをもたないバス事業者も少なくない。そのため、地方の小規模な公共交通事業者にとって、コストの点からバスロケーションシステムの導入は困難である。

バスロケーションシステムは、これまでITS政策の一環として国や自治体を中心となり導入が進められてきており、実際には導入コストが大きな問題とならずにサービスを開始した例も少なくない。しかし、導入後に通信費を中心とするコストの問題で運用を終了する事例も多い。「ある地域の路線バスの事例では、約750万円/年の運用費用を費やしている(情報提供路線11路線、車載器台数70台)。この費用は(略)年間約43,000人の乗客数に相当する」という指摘もある[8]。このため、路線バス事業から十分な収益が見込めない規模の小さい都市や地域で、バスロケーションシステムを継続するのは困難である。

2.2.2 応用サービスの問題

バスロケーションシステムの導入の促進のために、これまでユーザに対する利便性だけでなく、運行管理などの事業者の業務の効率化や、バスの運行情報から得たプローブ情報に基づく道路管理など、公共交通事業者など事業者側のメリットが訴えられてきた[9]。このことは、既存のバスロケーションシステムのパッケージ形態にも反映されており、ほとんどのバスロケーションシステムは、バス事業者自身が導入するバス運行業務支援システムの一機能に位置付けられ提供

されている。

一方で、バスロケーションシステムが実現するはずのユーザにとっての利便性が十分追求されていないという実態がある [8]。例えば同じ地区に複数のバス事業者がある場合に、異なる Web システム上で情報提供されるため、情報が分散したり、情報へのアクセス方法が違ったりして、利便性に問題が残る。より多様なサービスの登場を期待し、国土交通省を中心に公共交通情報データ標準を定める仕様が策定されているが [10]、こうした仕様を採用した事業者や、これを利用したサービスはほとんどなく、バスロケーションシステムが得た情報の活用は十分に進んでいない。業務上のメリットが小さい小規模な事業者にとって、ユーザにとってのメリットが大きくないこともバスロケーションシステムの導入を困難にしている。

3. スマートフォンを利用したバスロケーションシステム

本論文では、前述の問題を考慮して開発した、スマートフォンを利用したバスロケーションシステムについて述べる。

3.1 システムの概要

図 1 に、開発したバスロケーションシステムの全体像を示す。本システムは、大きくサーバとバスに搭載したスマートフォンというクライアントとに分けられる。クライアント側では、バスの現在位置をスマートフォンの 3G 回線を通して毎分通知している。サーバ側では、バスの時刻表やバス停位置、バスの路線や系統といった静的な運行情報を管理するほか、バスの運行情報ごとに現在位置やその履歴、定刻からの遅れ時間や最終通過バス停といった、時間の経過とともに変

化する動的な情報を管理し、クライアントからの位置の通知のたびに更新している。

3.5.3 にて詳述するように、バスの運行開始前に乗務員はクライアントにバス系統番号と発車時刻を入力する。これに、あらかじめ入力してあるバス事業者名と平日か休日かといった運行日の種別情報を組み合わせることで、サーバ上で管理されている特定のバスと対応付けられるようになる。走行中には、この組み合わせをコード化したバスを特定する ID とともに、端末 ID や走行中か終了時かの種別情報、GPS で観測した緯度経度、位置情報を取得した時刻、及びクライアントのバージョン番号を送る。

本システムの実装に際しては、公共交通機関経路探索システム「バスネット」[11], [12] の機能の一部として開発を行った。バスネットは、鳥取大学が開発した、鳥取県内のバスや鉄道を対象とした経路探索システムであり、現在までに 6 年以上の稼働実績がある。鉄道と異なり、バスに関する情報の電子化は遅れており、バス停の位置や経路情報、時刻表情報などが電子的な形で整備されている地域は多くない。しかしバスネットにおいては、バス事業者の業務の一環として常に最新のバス停データや時刻表データを入力する体制が作られており、地域の産官学連携によって経路探索システムが構築、運営可能であることを実証している。現在、バスや鉄道の乗り換え情報や時刻表を得るために毎月 2 万件から 4 万件以上の検索が行われており、鳥取県の公共交通機関の利便性を高める重要なインフラとして認知が進んでいる。バスロケーションシステムの構築に当たって、バスネットのデータベースで管理されているバス停、路線情報や時刻表情報などは共通に利用している。また、バスロケーションシステムのサーバは、バスネットのサーバの一機能として Ruby と MySQL を用いた Web アプリケーションとして実装している。

3.2 開発システムの特徴

開発したバスロケーションシステムは、以下の特徴を備えている。

3.2.1 安価な導入や運用の実現

バスロケーションシステムの導入や運用コストを削減するために、市販されているスマートフォンをバス車載器として採用し、3G 通信回線を通して定期的に位置を報告するスマートフォンアプリケーションを開発した。専用車載器の代わりに一般向けに広く販売されているスマートフォンを用いることで、安価な機材

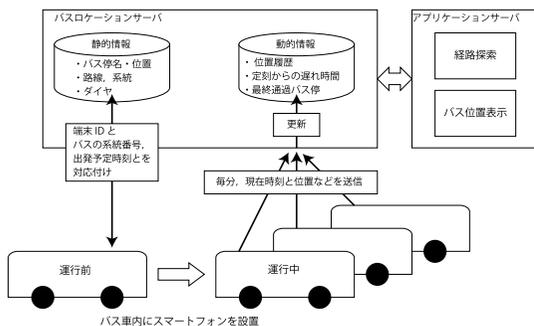


図 1 開発バスロケーションシステムの全体像
Fig.1 An overview of the bus-location system.

調達を実現した。また、通信速度を限定した安価な常時接続プランが提供され始めていることから、運用コストにおいてもメリットが大きい。アプリケーション開発のためのノウハウを広く交換できる点や、スマートフォンを利用している乗務員にとって扱いに抵抗がないことなどもメリットとして挙げられる。一方で、熱や衝撃などに対するハードウェアの信頼性の問題や、他の車内システムと連動できないという問題も存在する。

3.2.2 乗り換え案内サービスとの連携による総合的な公共交通案内の実現

開発したバスロケーションシステムは、システムを地域全体の公共交通の利便性を向上させるための基盤システムと位置付け、バス事業者単位ではなく、地域全体のバスの走行情報を一括管理するシステムとして実現した。システムの実現にはバス路線情報や時刻表情報を管理するデータベースをもつ必要があるが、これに、路線バス事業者によるバス運行業務支援システムではなく、一般向けの乗り換え案内サービスであるバスネットを用いた。このため、路線バス事業者の社内業務システムの導入によらないバスロケーションシステムの実現を可能にした。現在、Navitime やジョルダンなどの公共交通経路案内サービスが、独自に時刻表データを収集することで地方の路線バスへの対応を加速しており、このようなアプローチによるバスロケーションシステムの実現は、地方公共交通における低コストなバスロケーションシステムの実現手法として現実的となりつつある。

また、利用者に対して遅れを考慮した経路や時刻表案内を実現するなど、位置情報や到着予測時刻の提供だけに留まらないサービスを実現した。利用者は、バスネットのサイト上で事業者によらずにバスの位置を確認できるほか、時刻表にある予定時刻ではなく、バスロケーションシステムから得た、遅れを含んだ実際の運行情報に基づいた経路探索が可能となり、渋滞や悪天候などの状況下でも、路線バスの運行実態に合わせた最適経路を選択できる。

3.2.3 産官学連携による開発、運用の実現

鳥取県による事業をバスネットの運用主体である日本トリップ有限事業組合 (LLP) が受託する形で、バスロケーションシステムの開発や運用を進める体制を構築した。LLP は大学の研究者や交通事業者、地域の IT 事業者などをメンバーとして、バスネットの継続的な運用や発展を目的として 2006 年より活動を続け

ている。バスロケーションシステムに関しても、バスネットと同様に開発を大学が、車載端末の操作などシステムの稼働を交通事業者が業務として担当する推進体制を確立した。システムの運用には特に通信費に関して金銭的な負担が発生するが、鳥取県において交通事業者がこれを負担することは困難である。しかし、公共交通の利用促進は公共交通の衰退を防ぎ交通弱者の足を確保するという県の政策の一環でもあり、当初は総務省ユビキタスタウン構想推進事業の一環として、その後は鳥取県の公共交通利用推進事業の一環としてシステムを運用することとした。

3.3 システム開発と運用

バスロケーションシステムの開発は 2009 年より始め、2010 年 2 月からの冬期間、2010 年 12 月からの冬期間の 2 度の短期間の実証実験を経て、2011 年 12 月以降は継続的な運用を実現している。当初は 70 台、現在は合計 80 台の端末を用いて、鳥取駅を発着する 15 路線を対象としたサービスを実現している。

開発には既に存在するバスネットを活用したため、特にサーバにおいては流用できる機能やデータが多かったが、機能の一つとして開発した、遅れを含んだ時刻での経路探索は、高速性を追及した経路探索プログラムの性能を落とさずに実装する必要があり、技術的に困難であった。プログラム内部のデータ形式に合わせた特殊な形式のファイルに遅れ時間を書き出し、経路探索時にそれを読み取る形にすることで、性能への影響を抑えた。また、システムの動作確認のためには端末をバスの走行に合わせて実際に移動させる必要があったり、運用中のサービスに影響を与えないため、同一のシステムを用意して稼働させる必要があるなど、システム開発の終盤における動作検証や改良には通常の開発以上の労力を要した。

3.4 車載スマートフォン端末

バスロケーションシステムの端末には、2009 年度の実験開始時点では、表 1 に示す 2 種の Windows Mobile 6.1 搭載端末を導入した。その後 2012 年 7 月より、表 2 に示すように一部を Android 端末に置き換え、運用を続けている。スマートフォンは、図 2 に示すようにシガーソケットから給電し、バス車載器の操作盤の横に据え付けており、バス発車の前に乗務員が操作する。Windows Mobile による端末向けには C# で、Android 端末向けには JavaScript による Web アプリケーションとしてクライアントシステムを開発しており、端末起動時に自動的に起動するように

表 1 利用スマートフォン一覧 (実験開始当初)

Table 1 The specification of the smartphone (initial).

Name	Touch Diamond X04HT	Touch Pro E30HT
キャリア	Softbank	au
台数	30 台	40 台
CPU	ARM11 528MHz	ARM11E 400MHz
ROM/RAM	256MB/192MB	512MB/256MB
OS	Windows Mobile 6.1	

表 2 利用スマートフォン一覧 (2012 年 7 月～)

Table 2 The specification of the smartphone (current).

Name	Touch Diamond X04HT	Xperia Acro HD
キャリア	Softbank	NTT docomo
台数	30 台	50 台
CPU	ARM11 528MHz	Qualcomm MSM8260
ROM/RAM	256MB/192MB	16GB/1GB
OS	Windows Mobile 6.1	Android 2.3



図 2 バスに設置したスマートフォン
Fig. 2 A smartphone installed in the bus.

設定してある。電源投入後に GPS の利用が可能になるまで数分間待機した後、利用が可能になる。

3.5 端末と運行情報の関連づけ手法

バスロケーションシステムに利用しているスマートフォン端末は、位置は分かってもその端末がどの路線のどの発車時刻のバスに取り付けられているかはわからない。しかしバスロケーションシステムとして有効に機能するためには、便名や出発時刻などの運行情報と端末との関連づけが必要である。この組み合わせは当日の配車の都合などで変わるため、運行を開始するたびに設定し直す必要がある。スマートフォン端末は必ずしも電子機器の取り扱いに慣れているわけではない乗務員によって操作されるため、この関連づけを容易にすることは重要な課題である。これまで、3種類の関連づけ手法を試みている。

3.5.1 バス停選択方式

当初開発した方式は、始発となるバス停を選択し、更に便を選択する方式であった。図 3 に、本方式のスクリーンショットを示す。この方式では、毎回多くの

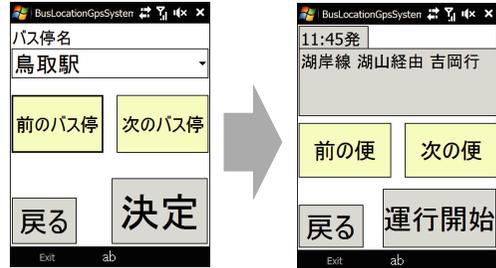


図 3 バス停選択方式による端末と運行情報の対応付け
Fig. 3 Select the route and time manually.

選択肢から適切な便を選択する必要があるため操作が煩わしく、より容易な関連づけが必要になった。

3.5.2 自動決定方式

次に試みたのは、最寄りバス停や現在時刻から自動的に便を決定する方式である。実際には同一の出発バス停から途中まで同一の経路を走るバスが少なくないため、複数の候補が考えられる場合は、可能性の高い候補の一覧から手動で選択するか判別が付いた段階で経路を自動決定する。図 4 に、スマートフォンアプリケーションにおける対応付け操作の方法を示す。アプリケーションはバス停の位置と時刻のデータをもっており、GPS による位置情報から取得した最寄りのバス停と現在時刻とを認識している。操作者には、まずバスが定刻通りに発車したか遅れて発車したかの入力が必要求められる。定時に走行する場合にはできる限り自動的に路線を認識するよう動作し、遅れて運行する場合も、可能な限り少ない入力数操作で便の設定ができるようにしている。

この方式による端末と運行情報の対応付けは、他に候補がなかったり、走行経路から候補を絞り込むことで行われる自動対応付け、画面上の候補ボタンを押す選択肢の選択、始発バス停から手動入力する手動対応付けの 3 パターンが考えられる。2010 年 12 月 9 日から 15 日にかけての一週間分のシステム稼働データ 341 件の動作を、図 5 に示す。自動対応付けは、約 3 割で行われた。5 割を占める定時発車後の選択肢を選択に関しても、そのまま走行を続けられれば自動選択が可能だったものがほとんどであり、本方式は一定の実現性があるといえる。しかし似た経路を通る便の判定に時間が掛かり、バスの走行開始時に便の決定ができなため、別の手法を試みることとなった。

3.5.3 系統番号方式

システムの信頼性と乗務員に対する負担との balan

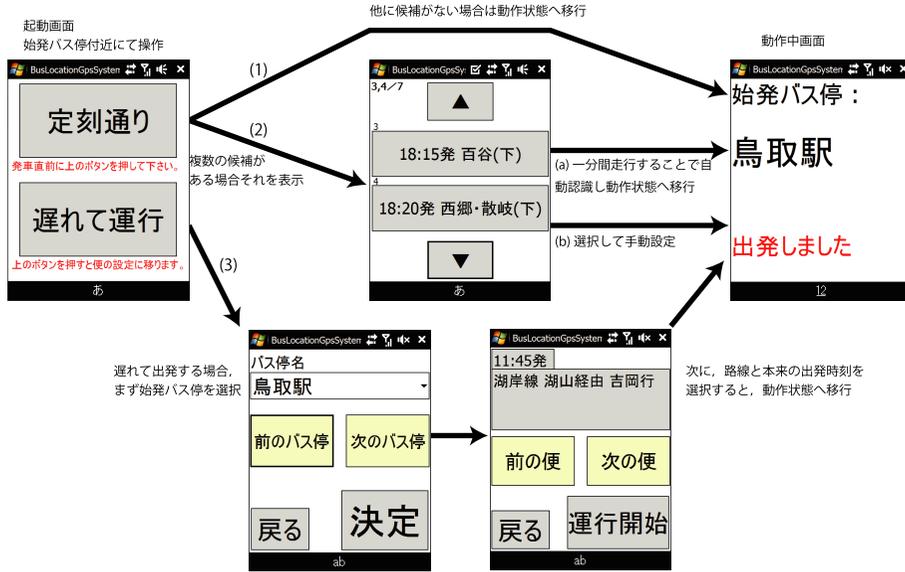


図 4 自動決定方式による端末と運行情報の対応付け
Fig. 4 An automatic selection of route and time.

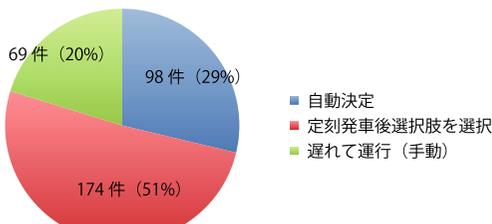


図 5 運行情報とのマッチング動作

Fig. 5 The rate of operation condition of the bus location system.



図 6 系統番号方式による端末と運行情報の対応付け
Fig. 6 Input of route id to identify the route and time.

スを考え、2011年12月以降は、系統番号を手入力することによる対応付けを採用している。系統番号とは、バスの運行パターンを区別する情報であり、同一の路線名でも経由の違いなどがあれば異なる系統番号が付けられる。バス乗務員は、バスの走行開始にあたってこの番号を入力し、行き先表示や車内放送といった車内システムを動作させている。この番号をバスロケーションシステムにも登録し、番号の入力によって端末と運行情報とを対応付ける。系統番号だけでは出発時刻が区別できないので、現在時刻に最も近い出発時刻を選択したうえで、それ以外の出発時刻への変更も可能にしている。図6に本方式のスクリーンショットを示す。

本方式は、既に行われている系統番号の入力とほと

んど同様の操作であり、画面上で入力結果の確認も容易であるため、多くの乗務員に抵抗なく受け入れられ、ミスの少ない端末と運行情報の対応付けが実現した。

3.6 位置情報からの遅れ時間の算出

バスロケーションサーバでは、スマートフォンを通して取得した位置情報と、管理しているバスの運行情報を比較してバスの遅れ時間を算出する。バスの運行情報は、各バス停ごとの発車時刻という形で表現されているが、スマートフォンから通知される情報は約60秒ごとの位置と時刻でありバス停の通過時刻とは限らない。そのため、通知される位置情報と通過時刻から時刻表に対する遅れを推測している。なお、バスの運行においては、途中で時間調整をすることで発車予定

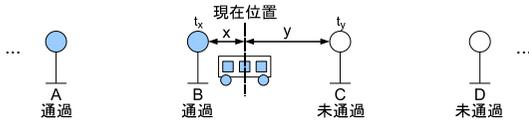


図 7 遅れの算出
Fig. 7 A smartphone installed in the bus.

時刻より早く出発する早発を起こさないようにしている。

遅れ時間の算出にあたっては、まず直近に通過したバス停を探し出し、バスが現在どのバス停間を走行しているか調べる。そして、バスが現在走行中の区間(図 7 においては BC バス停間)において進んだ割合を求める。その際、BC バス停間の正確な道路情報をもっていないため、各バス停とバスとの直線距離 x , y を利用して式 (1) のように割合 p を推定する。B, C バス停の通過予定時刻はわかっているため、この割合から現在地点の理論上の通過時刻を計算し、実際の通過時刻と比べることで遅れを算出する。

$$p = \frac{x}{x + y} \quad (1)$$

3.7 端末の切り替えと新車載端末アプリケーションの開発

2012 年 7 月より、一部のバスロケーションシステム端末をこれまでの Windows mobile 端末から Android 端末へ切り替えた。その際に、車載端末アプリケーションを HTML と JavaScript を利用した Web アプリケーションに切り替えた。

3.7.1 新車載端末アプリケーションの開発方針

新車載端末アプリケーションの開発方針は以下のとおりである。

- これまでの端末との互換性

新端末の導入にあたっては、これまでの端末を一度に入れ替えるのではなく、一部の端末から順次入れ替えたり、新規に導入する手順となった。そのため、これまでの端末と同様の通信プロトコルに対応するほか、機能や操作性の点でもこれまでと変わらないものを開発する必要がある。

- 特定の OS やバージョンに依存しない動作

当初のアプリケーションは Windows Mobile 専用を開発していたため、新端末への切り替え時にアプリケーションを開発し直す手間が必要だった。しかし、バスロケーションシステムの運用に際しては、逐次スマートフォン端末を更新、追加しながらその運用を継続す

ることになる。その場合、端末を導入する時期により、最適な端末や料金プランが異なる。そのため、特定の OS やバージョンに依存せずに動作するアプリケーションであることが望ましい。

- オンラインアップデートの実現

これまで、バスロケーションシステムの車載端末アプリケーションの更新のためには、一度回収を行い、アプリケーションをインストールし直す必要があった。複数の事業所を基地とする数十台のバスから端末を回収し再度設置する必要があったため、プログラムの改良や修正は困難であった。このため、オンラインで容易にプログラムを更新できる仕組みが求められている。

3.7.2 Web アプリケーションとしての車載端末アプリケーションの開発

新車載端末アプリケーションは、HTML5 を利用した Web アプリケーションとして開発し、Android 端末へ対応させるとともに、今後の端末選択の自由度を高めた。Web サーバにおかれた JavaScript ファイルの更新によって、いつでもアプリケーションを更新が可能になった。Geolocation API を通して位置情報を取得し、これまでと同様の HTTP 通信により位置を通知する。

スマートフォンには様々なボタンや機能があるが、安定した運用のためには、これらを無効にし、開発したアプリケーションのみが動作するように設定する必要がある。Android には、iOS の Guided Access 機能に相当する機能がないため、特定の URL のみを全画面表示する Web ブラウザアプリケーションを開発し、ホーム画面アプリケーションに設定した。ホーム画面アプリケーションとは、Android のシェルに相当するアプリケーションであり、通常は様々なアプリケーションを起動するランチャが設定されるものである。これによって、起動時に自動的に全画面に Web アプリケーションの画面が表示され、専用端末に近い運用を実現した。

4. バスロケーションシステムを応用したサービス

4.1 バス現在位置やバス停通過情報の提供

開発したバスロケーションシステムの基本的なサービスとして、バスの現在位置やバスの通過情報を表示するシステムを開発した。バスの現在位置表示は、Google Maps API を利用して、現在走行中のバスの位置を表示する(図 8)。このページから、現在乗ろう

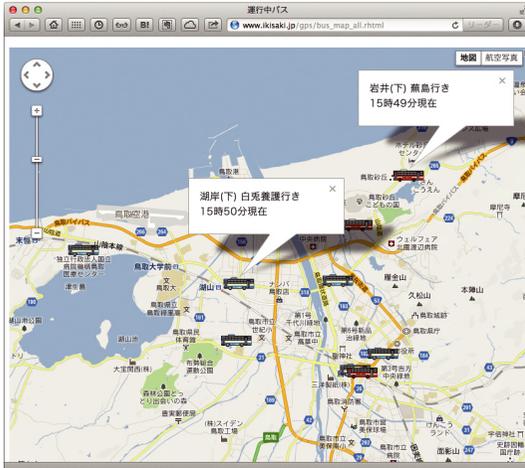


図 8 バスの現在位置表示
Fig. 8 Visualization of the running bus location.

(日ノ丸(東部))岩倉(上)線 鳥取駅行きバス接近情報図

【周辺地図で表示】
※停留所名で表記されたバス停周辺を走行中です
※青い太字で強調されている停留所名が乗車バス停です

番号	停留所名
0	岩倉(市道)始発(バス停)
1	三洋本社前
2	緑町
3	立川五丁目
4	立川大橋
5	立川二丁目
6	内吉方(乗車バス停)
7	文化センター前
8	生協病院前
9	農協会館前
10	鳥取駅【終点バス停】

鳥取駅
鳥取駅(西口)
(C) Keisaku-A Lab. ©Toscat Lab.

図 9 バス停通過情報
Fig. 9 Bus location.

としているバスがどこを何分遅れで走っているかという情報を得られる。また、バスを待つ人への案内として、バス停通過情報を提供している。図 9 の例では、現在の最寄りバス停は「緑町」であり、次に「立川 5 丁目」を通過予定であることが読み取れる。

4.2 遅れを考慮した経路探索

バスや鉄道の乗り換え案内サービスであるバスネットと連携し、バスロケーションシステムが算出した遅れ時間を考慮した経路案内を実現した。走行中の路線バスに遅れが発生している場合、経路探索の際に時刻表の時刻ではなく、遅れを加算した時刻を用いる。この機能により、これから乗車するバスが既に遅れている場合、バス停の出発時刻や途中の乗り換え情報が更新される。また、乗り換え予定のバスに遅れがあった

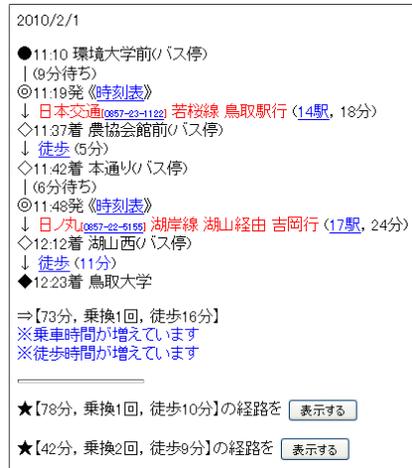


図 10 運行が定刻通りの経路探索結果
Fig. 10 The search result without delay.



図 11 7 分の遅れがある場合の経路探索結果
Fig. 11 The search result with 7 min delay.

場合も、より速く到着する経路がある場合はそれを案内するようになる。これらの機能により、必要以上の待ち時間によるストレスや、乗り換えバスや列車を逃すという不安を感じない公共交通機関の利用が実現する。この検索結果は随時更新されるため、携帯電話からアクセスすることで、バス乗車中であっても、最新の遅れに基づいた経路案内を得ることができる。なお、遅れの計算にあたっては現時点での遅れが運行中変わらず継続することを仮定している。

以下に遅れを考慮した経路探索の例を示す。図 10 は運行が定刻通りに行われた場合で、図 11 はバスに遅れが生じた場合の経路探索結果である。条件はともに出発地を環境大学前(バス停)、目的地を鳥取大学としている。図 10 では、11:48 発の「日ノ丸 湖岸線」

に乗る経路が表示されている。一方、図 11 では「日本交通 若桜線」が遅れてしまったので、図 10 で乗れたはずの「日ノ丸 湖岸線」に乗れなくなっている。しかし、図 11 では遅れを考慮した経路探索が行われ、12:16 発の「JR 西日本 山陰本線」に乗る経路が表示された。このように、バスの遅れによって乗り換えが不可能になる場合にはその後の経路全体が見直され、遅れを含んだ条件下での最適な経路が検索される。

5. システムの運用と評価

現在までのシステムの運用状況やそこから得られた知見を以下に記す。

5.1 運用コスト

スマートフォンの通信速度は高速である必要はないので、MVNO 事業者や一部の通信事業者が提供している低速で安価な料金プランを用いることで、コストを抑えた運用が可能になる。Android 端末で利用している NTT ドコモの「定額データプラン 128K バリュー」[13] では月額料金が 1737.5 円となり、2.2.1 に挙げた車載器 70 台で年間 750 万円という事例と同規模のバスロケーションシステムが、スマートフォンを用いることで年間 150 万円以下で運用できる計算になる。実際に運用しているバスロケーションシステムでは、端末の事業者や導入時期により複数の契約形態が混在している。

5.2 端末の安定性

スマートフォンは安価ではあるものの、バス車内で連続運用するには機器の信頼性に問題あることが予想された。Windows Mobile 端末に関しては、GPS の受信状態に難があり、時折、電源投入後なかなか現在位置を認識しないという問題が発生した。2012 年 7 月以降に導入した Android 端末に関しては、半年間で故障による交換が 1 台、USB 端子の破損による交換が 1 台あったほか、利用中に突然動作を停止したり、アプリケーションの自動起動設定が解除されたり、予期しない初期化によりソフトウェアが消去されてしまうなどのトラブルが起こっている。表 3 に台数や頻度を示す。自動起動の解除に関しては再設定手順を記したマニュアルを事業者に渡し、現場で対応を行っているが、初期化された際にはいったん大学に運び、インストールのやり直しを行っている。これは、アプリケーションのインストールの際には画面の回転の禁止や画面ロックの禁止など様々な設定項目があり、Android の操作に慣れていないと操作が困難だからである。端

表 3 運用半年間での端末トラブル (50 台中)
Table 3 The numbers of troubles of the smartphones.

端末トラブルの種類	台数や頻度
破損、故障による交換	2 台
予期しない初期化による再インストール	5 台
予期しない自動起動の解除による再設定	2 週間に 1 台程度

末トラブルは、車内温度が上昇する夏期だけでなく冬期にも発生している。また特定の端末に故障が集中するという傾向はなかった。こうした問題はあるものの、頻度は高くなく、実用性には問題のない運用が可能であると判断している。

5.3 携帯電話のエリア

バスロケーションシステムの開発開始当初、バス路線の一部が携帯電話のサービスエリア外であった。系統番号の設定操作が必要となる地点がエリア外である場合もあったため、端末内に運行情報データを内蔵させ、通信を行わずに関連づけを実現できるようにした。この場合、通信が可能になったところから端末は動作を再開することになる。その後、エリアの拡大や携帯電話事業者の乗り換えを経て、現在はほぼ全ての対象路線が携帯電話のサービスエリアとなっており、オフライン操作を想定する必要性は薄れてきている。

5.4 送信間隔

送信間隔である 60 秒は、市街地でバスが約 300m を走行する時間であり、これは、当初従量制の通信契約をしていたために、実用性を失わない範囲で最も通信量を抑えられる送信頻度として設定したものである。現在でも一部が従量制の契約であるため、この送信間隔を全ての端末で採用している。3.6 で述べたように、バスの位置情報から遅れ時間を分単位で算出して管理しているが、この算出のために十分な送信間隔であることを、運用を通して確認している。なお、バスロケーションシステムには、現在のところバスネットと同一のサーバを利用しているが、負荷にはまだ十分な余裕がある。負荷テストでは、200 台の端末が 10 秒間隔で位置を送信するペースである 1 分あたり 1,200 回送信程度までは動作可能であることを確認している。

5.5 稼働状況

開発したバスロケーションシステムは、対応したバス路線の全便、全区間で動作することが望ましいが、実際には稼働状況は完全なものではない。表 4 に、2013 年 3 月 3 日を例にシステムの稼働状況を示す。対象となる全 178 便に対してシステムが完全に動作したのは 57%であった。運行開始前の準備時間中に GPS

表 4 システムの稼働状況 (2013 年 3 月 3 日)
Table 4 The statistics of the condition system in
March 3rd, 2013.

動作状況	旧端末	割合	新端末	割合	合計	割合
完全動作	14 便	26%	85 便	84%	103 便	57%
途中まで動作せず	9 便	17%	1 便	1%	11 便	6%
合計	53 便	100%	101 便	100%	178 便	100%

※端末を特定できないデータを含むため、合計は一致せず

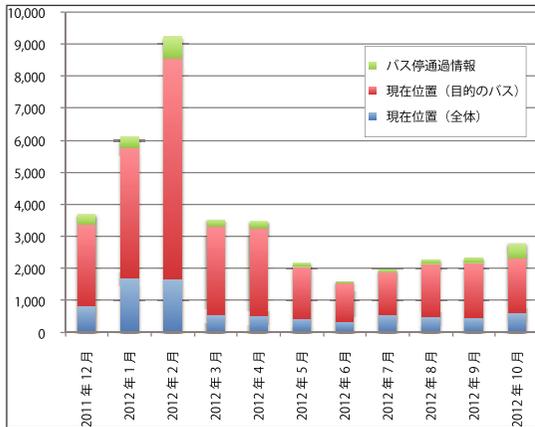


図 12 バスロケーションシステムへのアクセス数

Fig. 12 Number of the access to the automatic vehicle location system.

が受信出来ず、端末が動作可能な状態に入らなかったり、端末が途中で停止してしまうようなシステムや端末の不具合が原因であるだけでなく、機器操作に不慣れであったり、運行が遅れている場合に端末操作を行う余裕がなかったりなど端末の使いづらさにも原因があると考えられる。Android による新端末に限れば、84%の便で完全動作しているため、端末の性能や操作性の向上がシステムの稼働状況の改善に重要であると考えられる。また、一度断念した自動決定方式による運行情報の対応付けも今後の課題となる。

5.6 バスロケーションシステムへのアクセス数

図 12 に、システムの継続運用開始以降のバスロケーションシステムへの Web を通じたアクセス数を示す。バス現在位置表示は、走行中の全てのバスを対象としたものと、経路や時刻表の検索結果に示された、特定のバスだけを表示するものがあり、区別して計上している。特定のバスを対象とした現在位置表示へのアクセス数が最も多く、バス停通過情報へのアクセスは少ない。また、月ごとの変動が大きく、降雪などでバスが遅れがちな 2 月は 9,000 件を越えるアクセスが

あった一方、夏期のアクセスは 2,000 件前後に留まっている。サービス対象となる鳥取市の人口は 20 万人弱であり、対象外の地域も多いことから、サービスを提供している地域においては、バスネットに並ぶ重要な交通情報サービスとして認知され始めていると考えられる。

5.7 バス事業者の対応

今回の実験にあたっては、バス事業者ともバス事業の必要性と経営の難しさという問題意識を共有でき、実験に対して全面的な協力を得られた。スマートフォンの利用は、年配の乗務員には操作に抵抗があったものの、若い乗務員は趣旨を理解し、積極的に操作したとのことだった。バスロケーションシステムが労務管理の強化につながるという観点からの苦情は特になかった。一方で、本システムがバスの利便性向上につながっているという直接的な実感はまだ伝わっていない。バスロケーションシステムの稼働には、事業者やバス乗務員の協力が不可欠であり、システムのメリットを継続的に理解してもらう努力が必要である。

6. 関連研究

バスロケーションシステムの登場時と比べ、現在は多くの方が GPS や通信機能を備えた携帯端末をもつようになっており、公共交通の走行位置の取得方法や、公共交通利用支援サービスの姿も、多様になってきている。

バスや鉄道、路面電車などの公共交通機関利用者を対象にモバイルデバイスを通じた情報提供を目指す研究は世界中で数多く行われている。1990 年代前半から研究開発が行われ [14]、コンテキストウェアコンピューティングのアイデアを取り入れた研究 [15], [16] などがある。こうした研究が扱う課題は、徐々にシステム構築そのものからユーザビリティや利用者の振る舞いの分析などへ移行しており、認知障害をもつ利用者を対象とした研究 [17] や、到着予想時間の表示による影響の研究 [18]、ヒューマンコンピュータインタラクションの見地からの研究 [19] などが進められている。現在は、GPS を備えたスマートフォンを前提に、駅やバス停間の経路だけでなく出発地点から目的地までの全体経路を検索し、ナビゲーションするようなサービスまで商用化されている [20]。こうしたサービスの開発を促すため、バス停や時刻表や路線、バスの現在位置データまでオープンデータとして Web API で公開した事例 [21] もある。

GPS を利用し、交通機関の位置を取得、利用する技術開発は様々な研究が進められている [22]~[24]. 近年はより安価にバスロケーションシステムを実現するために、乗客が自身のスマートフォンを使って位置を発信する、クラウドソーシングによる実現が研究されており、シミュレーション [25] やピッツバーグにおける実証実験 [26] などが行われている。また、Twitter に投稿された遅れ情報を集約する Web サイト [27] や、Twitter の投稿を解析して路線ごとの遅延情報を抽出するサービス [28] などが登場している。しかしクラウドソーシングのアプローチは、現在のところ人口や利用者数が多い都市部に限られており、本研究が対象とする地方都市での実現は難しい。

公共交通機関に限定せず、実世界の様々なモノや事象、サービスの位置や属性をリアルタイムに収集し、共有するプラットフォームの研究が進められている。WikiCity [29] では、イベントや公共交通機関、ニュースや統計情報など都市の多様で大量の情報を収集、解析し、オントロジを活用して整理しユーザーに適切に届けている。CarTel [30] は、自動車に取り付けたセンサーで位置情報とともに渋滞情報や気象情報などの様々な情報を収集し、それを DTN (Delay Tolerant Networking) 技術で集約し、空間の面的な観測を実現している。SenseWeb [31] では、センサ情報を集約、配信するプラットフォームとして広域の多様なセンサを総合したプラットフォームを実現している。バスロケーションシステムの走行情報を、渋滞や道路障害物の発見などを検出するプローブ情報として活用することも検討が進んでいる [8].

7. 今後の課題

開発したバスロケーションシステムは現在も稼働を続けているが、更なる継続やサービスの向上を目指し、今後以下のような課題への挑戦を考えている。

7.1 ユーザのためだけでなく、乗務員の支援へ

バスロケーションシステムの開発や運用にあたっては、これまで主にバス利用者に対する利便性の提供という観点から開発を続けてきた。時折システムへの感謝を伝えるメールが来るものの、日常の運用の中でその効果を実感する場面は多くない。一方で、現場でのスマートフォンの操作などは負担となっており、出発時に必ず端末操作が行えるわけではない。そこで、車載器に提示する情報を工夫し、乗務員にも利便性をもたらすシステムとすることを検討している。次に通過

するバス停やその通過予定時刻を表示するなど、運行時に必要な情報を提示し、路線バスの運転の支援の実現を検討している。

7.2 遅れ予測手法の改良と提示方法の工夫

現在のシステムでは、遅れが発生したとき、その後も同程度の遅れが継続するものと仮定して今後の遅れを予測し、経路案内などに利用している。しかし実際は、走行中に遅れを取り戻したり、更に遅れが生じる場合もある。そのため、今後、バスロケーションシステムから収集したデータを元に、遅れの発生パターンを調べたり、遅れ予測を含んだ不確実な情報をどう提示するか、提示手法の検討を進めてゆく。

7.3 バスロケーションシステムを利用したアプリケーションの充実

路線バスの現在位置が正確にわかることをインフラとして利用し、ユーザの利便性を高めるアプリケーションを更に提供してゆく。待ち時間に合わせて焦らずにポストや ATM、コンビニエンスストアを利用するなど、バス停での待ち時間の有効利用を支援するアプリケーションや、スマートフォンの位置情報だけからバス乗車中か否かを判別して、それに応じた情報提供やナビゲーションを行うなど、路線バスの位置情報を前提としたサービス開発を進めてゆく。このとき、位置の通知間隔を現在の 60 秒より短縮し、常に最新の位置を反映する、より高い応答性を備えたサービスを実現してゆく。

8. むすび

本論文では、スマートフォンを車載器に用いるバスロケーションシステムの開発と運用について述べた。バスロケーションシステムは、渋滞や事故、天候などで遅れがちな路線バスを待つユーザに到着を知らせることで利便性を提供するだけでなく、更に高度な公共交通利用支援サービスや、事業者における管理やサービスの改良にも役に立つ、重要な基盤情報システムである。しかしながら、主に運用コストの問題で公共交通が衰退している地方において導入することは困難であった。本論文において開発したスマートフォンによるバスロケーションシステムは、鳥取県において既に 1 年近く運用を実現しているものであり、安価に提供されている機器や通信サービスでも、有用なサービスが実現できることを示した。更に、鳥取県の公共交通乗り換え案内サービス「バスネット」と連携することで、遅れを考慮した経路探索を実現し、より高度な公

公共交通利用支援を実現した。本システムが、今後地方におけるバスロケーションシステムを中心とした公共交通情報システム構築のモデルケースとなり、中山間地域や過疎地域の交通事情の向上に役に立つことを願っている。

謝辞 日ノ丸自動車株式会社, 日本交通株式会社, システム開発に尽力した卒業生, 特に石崎美文氏, 金谷直樹氏, 山根丈史氏に感謝する。本研究の一部は, 総務省ユビキタスタウン構想推進事業による鳥取県の委託事業, 総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)の受託研究によって実施された。

文 献

- [1] T. Camacho, M. Foth, and A. Rakotonirainy, "Pervasive technology and public transport: Opportunities beyond telematics," *IEEE Pervasive Computing*, vol.12, no.1, pp.18–25, 2013.
- [2] L. Figueiredo, I. Jesus, J.A.T. Machado, J.R. Ferreira, and J. Martins deCarvalho, "Towards the development of intelligent transportation systems," *Proceedings of the 2001 Intelligent Transportation Systems*, IEEE, pp.1206–1211, 2001.
- [3] 運輸省, 昭和 52 年版 運輸白書, 大蔵省印刷局, 1978.
- [4] 中村文彦, 馬場崎靖, 菅田安秀, "路線バス運行情報のインターネットへの提供実験," *交通工学*, vol.33, no.4, pp.48–53, 1998.
- [5] NEC ネットソリューションズ株式会社, "バスロケーションシステム," <http://www.nec-nexs.com/sl/sol/bus3.html>
- [6] 沖電気工業株式会社, "Loco もがサービス," <http://www.oki.com/jp/ITS/navi/locomobi/>
- [7] NTT ソフトウェア株式会社, "MobilityLIVE/Bus," <http://www.ntts.co.jp/products/mobilitylive.bus/>, 2008.
- [8] 大谷達彦, "バスロケーションシステムの運用に関する検討," *JICE REPORT*, vol.9, pp.33–38, 2006.
- [9] 中村文彦, バスでまちづくり 都市交通の再生を目指して, 学芸出版社, 2006.
- [10] 国土交通省自動車交通局, "公共交通情報データ標準 仕様書 第 1.1 版," March 2006.
- [11] 川村尚生, 菅原一孔, "バスネットワークのための実用的な経路探索システム," *情処学論*, vol.48, no.2, pp.780–790, Feb. 2007.
- [12] 日本トリップ有限責任事業組合, "バスネット," <http://ikisaki.jp/>
- [13] NTT ドコモ株式会社, "定額データプラン 128k バリュウ," <http://www.nttdocomo.co.jp/service/data/foma/bill.plan/128k-value/>
- [14] J. Hellaker, C. Palmgren, and S. Turunen, "Real-time traveller information-in everyone's pocket? - a pilot test using hand-portable GSM terminals," *Proceedings of the 1993 Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, IEEE-IEE, pp.49–52, 1993.
- [15] M. Bertolotto, G. O'Hare, R. Strahan, A. Brophy, A. Martin, and E. McLoughlin, "Bus catcher: A context sensitive prototype system for public transportation users," *Proceedings Second International Workshop on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS)*, Singapore, pp.64–72, 2002.
- [16] J. Kjeldskov, S. Howard, J. Murphy, J. Carroll, F. Vetere, and C. Graham, "Designing TramMate: A context-aware mobile system supporting use of public transportation," *Proceedings of the 2003 Conference on Designing for User Experiences*, ACM, pp.1–4, 2003.
- [17] S. Carmien, M. Dawe, G. Fischer, A. Gorman, A. Kintsch, J.F. Sullivan, and F. James, "Socio-technical environments supporting people with cognitive disabilities using public transportation," *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol.12, no.2, pp.233–262, 2005.
- [18] K. Dziekan and K. Kottenhoff, "Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: Effects on customers," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol.41, no.6, pp.489–501, 2007.
- [19] B. Ferris, K. Watkins, and A. Borning, "OneBus-Away: Results from providing real-time arrival information for public transit," *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp.1807–1816, 2010.
- [20] M. Arikawa, S. Konomi, and K. Onishi, "NAVITIME: Supporting pedestrian navigation in the real world," *IEEE Pervasive Computing*, vol.6, no.3, pp.21–29, 2007.
- [21] 鯖江市コミュニティバス, "つつじバスロケーション web api," <http://www.city.sabae.fukui.jp/users/tutujibus/web-api/web-api.html>
- [22] W.-H. Lin and J. Zeng, "An experimental study of real-time bus arrival time prediction with GPS data," *Journal of the Transportation Research Board*, vol.1666, pp.101–109, 1999.
- [23] I. Steven, Y. Ding, and C. Wei, "Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks," *Journal of Transportation Engineering*, vol.128, p.429, 2002.
- [24] G. Mintsis, S. Basbas, P. Papaioannou, C. Taxiltaris, and I. Tziavos, "Applications of GPS technology in the land transportation system," *European Journal of Operational Research*, vol.152, no.2, pp.399–409, 2004.
- [25] A. Thiagarajan, J. Biagioni, T. Gerlich, and J. Eriksson, "Cooperative transit tracking using smartphones," *Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, ACM, pp.85–98, 2010.
- [26] J. Zimmerman, A. Tomasic, C. Garrod, D. Yoo, C. Hiruncharoenvate, R. Aziz, N.R. Thiruvengadam, Y.

Huang, and A. Steinfeld, "Field trial of tiramisu: crowd-sourcing bus arrival times to spur co-design," Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp.1677–1686, 2011.

- [27] F. Ko-Ji, "電車遅延なう," <http://feed.fkoji.com/train/>
- [28] 株式会社駅探, "Android 無料アプリ「路線実況」を提供開始 ~株式会社東芝研究開発との共同実証実験~, " <http://ekitan.co.jp/news/2012/03/29-1.html>
- [29] B. Resch, F. Calabrese, A. Biderman, and C. Ratti, "An approach towards real-time data exchange platform system architecture," Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp.153–159, 2008.
- [30] B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan, and S. Madden, "CarTel: A distributed mobile sensor computing system," Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.125–138, ACM, 2006.
- [31] A. Kansal, S. Nath, J. Liu, and F. Zhao, "Senseweb: An infrastructure for shared sensing," IEEE Multimedia, vol.14, no.4, pp.8–13, 2007.

(平成 25 年 1 月 11 日受付, 5 月 15 日再受付)



菅原 一孔 (正員)

1956 年生。1979 年山梨大学卒業。1981 年東京工業大学大学院工学研究科修了。同年神戸市立工業高等専門学校講師。1994 年鳥取大学工学部助教授。現在同大学大学院工学研究科教授。2009 年より同大学産学・地域連携推進機構機構長を併任。2007 年度より電子情報通信学会中国支部評議員。2009 年同学会中国支部長。計算機アーキテクチャ、画像処理アルゴリズムの H/W 開発等の研究に従事。2008 年度総務大臣表彰 u-Japan 大賞地域活性化部門賞, 2009 年度総務大臣賞産学官連携功労者表彰, 船井ベストペーパー賞, 2010 年度日刊工業新聞社第 5 回ものづくり連携大賞特別賞などを受賞。工学博士。情報処理学会会員。IEEE member.



伊藤 昌毅

2004 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了, 2008 年同博士課程単位取得退学。博士(政策・メディア)。現在, 鳥取大学大学院工学研究科助教。地理情報や行動履歴の解析技術を中心に, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。

情報処理学会, 地理情報システム学会会員。



川村 尚生 (正員)

1965 年生。1994 年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程単位取得退学。同年鳥取大学工学部知能情報工学科助手, 現在, 同大学大学院工学研究科情報エレクトロニクス専攻教授。エージェントシステム, バスの利用促進に関する研究に従事。博士

(工学)。情報処理学会会員。