

ラオスにおけるバスロケーションシステムと交通観測センサーの実用化

西田 純二¹・森本 哲郎²・白濱 勝太³・浅尾 啓明⁴・辻堂 史子⁵・上善 恒雄⁶

¹フェロー会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)

E-mail: nishida@jriss.jp

²非会員 株式会社 社会システム総合研究所 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)

E-mail: morimoto@jriss.jp

³非会員 大阪電気通信大学総合情報学部 (〒575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70)

E-mail: dt16a001@oecu.jp

⁴非会員 株式会社ナレッジパーク研究所 (〒534-0001 大阪市都島区毛馬町 3-2-3-429)

E-mail: asao@karn.asia

⁵会員 株式会社シティプランニング(〒600-8431 京都市下京区綾小路通新町東入善長寺町 143)

Email: tujido-cp@par.odn.ne.jp

⁶非会員 大阪電気通信大学総合情報学部 (〒575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70)

E-mail: jozen@osakac.ac.jp

筆者等はラオスの首都ビエンチャンに、IoT 技術を活用した路線バスのバスロケーションシステムと Wi-Fi パケットセンサーによる交通観測システムを導入した。これらはスマートフォン等の汎用製品を多用したローコストで維持管理の容易なシステムであり、開発途上国における交通観測インフラとしての有効性を確認することができた。本システムの特徴は、観測システムから得られる Big Data の解析を通して、渋滞区間の検知や交通流動パターンの計測、バス利用者の時空間分布解析などの幅広い分析を行うことが可能であることである。システムから得られる情報は、バス運行管理室の他、交通警察や道路管理者にも提供されている。また道路渋滞情報はインターネットを通して一般市民にも提供されている。本論文では、本システムの開発の背景と導入したシステムの概要、その導入効果を取りまとめ、今後の活用の方向性について述べる。なお、本事業は JICA 委託事業¹⁾として実施したものである。

Key Words: 公共交通計画, 交通情報, 公共交通運用, ITS

1. はじめに

都市化が進み、自動車交通が急増しているラオスの首都ビエンチャン市において、スマートフォンを使ったバスロケーションシステム（以下、「バスロケ」と略す。）と Wi-Fi パケットセンサーにより、低コストかつ短期間に導入できる都市交通観測システムを導入した。バスロケは 1 秒毎のバスの位置情報を利用者に配信するだけでなく、バス運行速度から渋滞情報を生成し提供している。スマートフォンからアクセスするユーザの位置情報を収集し、利用者の時空間分布解析を行うことで、バス路線の設定や運行時間の検討に活用できる。

また、スマートフォン等の Wi-Fi 搭載機器が発するパケットを路側に設置したセンサーで受信し解析するシステムである Wi-Fi パケットセンサーを導入した。道路区間の走行速度や所要時間、交差点間 OD 表等を生成でき

る。これらの情報は、インターネットにより一般市民に提供する他、バス運行管理センターや交通警察、公共事業運輸省などに大型モニタを設置し、交通管制に活用されている。本論文では、本システムの開発の背景とシステムの概要、導入効果をまとめ、今後の活用の可能性について述べる。なお本論文の一部は交通工学 51 巻²⁾において発表しているが、効果検証等に関する詳しい分析を追加し、本論文に改めて発表するものである。

2. バスロケーションシステム

(1) ビエンチャンのバス運行の現状と導入の背景

筆者がビエンチャンを最初に訪問したのは、2014 年の 10 月であった。市内の公共交通サービスは路線バスとツクツクが中心で、台数は少ないがタクシーも走行し

ている。幹線道路には立派なバス停はあるが、まったく機能していない。路線バスは手を上げた利用者のところに停車し、バス停は市民の休憩所となっている。約 50 台の路線バスが運行されており、主な車両は日本の無償援助で導入された。運行管理上の問題—バスの運行が運転手の裁量に任せられている部分が多い—と頻発する交通渋滞のために定時運行は行われていない。当然バス停には時刻表はなく、利用者はいつ到着するかわからないバスを路側で待機する。このような現状を見て、現地のニーズに合致したバスロケを企画した。

(2) システムの特徴

日本の路線バスはバス停を基準とした定時運行が基本である。我国で普及しているバスロケは、バスの運行管理を目的としたものが多い。このため日本のバスロケ⁴⁾をそのままラオスに導入するには、高機能すぎて運用が難しく、かつ高コストである。そこで筆者らは、ラオスでも近年急速に普及が進むスマートフォンを情報閲覧端末とし、車載端末もスマートフォンとする(図 1)ことで、安価でかつ容易に導入できるシステムを開発した。

位置情報の取得は 1 秒単位とし、運行中のバスが正確にインターネットの地図上に表示されることを目指した。地図上でバスはあたかも走行しているように動く。バス利用者はスマートフォンを見ながら、バスの到着を予測し路側で待機できる。また秒単位で取得されるバスの速度情報を用いて、路線の走行速度分布を表示させた。これらの情報は次の WEB サイトから確認できる。

<https://lao.busnavi.asia/>

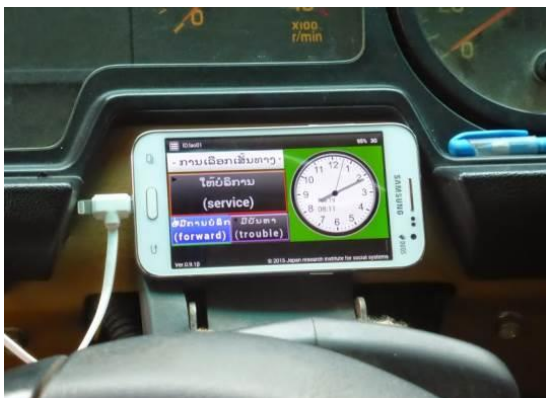


図 1 バスに取り付けた車載スマートフォン

(3) 提供情報

導入したバスロケは、WEB サービスにより利用者にバスの位置情報を配信する他、路線の渋滞情報や道路の区間所要時間等を提供している。

ビエンチャンの市内路線バスはほとんどの路線が CBS (Central Bus Terminal) を起点に運行されている。各バス路線は短距離路線から 1 時間以上の乗車時間に及ぶ

長距離路線までさまざまであり、路線ごとに異なる運賃が定められている。バスに乗車した際に、路線ごとに定められている運賃を支払うため、バス路線が重複した区間で長距離路線のバスに乗りこえてしまうと高額な運賃を支払う必要があった。そこで今回開発したバスロケでは、バスをクリックすると運賃が表示されるようにした。日本で弊社が提供しているバスロケでは搭載していない機能であるが、現地運転手からの要望により、機能追加を行った仕組みである。

このような細かな改良を加えながら、半年ほどの期間を経て現地に適合するバスロケへとシステムのローカライズを行った。

(4) バス利用者の時空間分布解析

本システムのもうひとつの特徴は、バス利用者の時空間分布解析が行えることである。利用者によるバスロケへのアクセスの多くはスマートフォンにより行われる。そこで、利用者がアクセスした場所と時間をサーバ側で記録し、利用者の時空間分布解析を行うこととした。図 3 はバスロケユーザの分布を、図 4 はユーザの時間分布と参照路線を示している。これらの情報は、バス路線の計画や運行ダイヤの検討に活用できる。

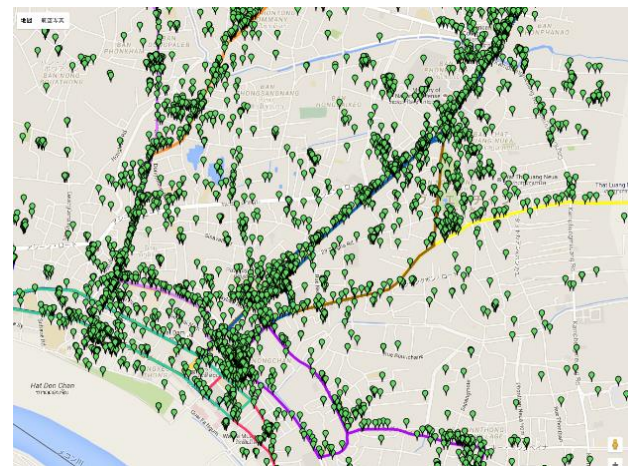


図 2 バスロケユーザの市内の分布



図 3 バスロケユーザの時間分布

本システムへのアクセスは海外からの利用も多い。ビエンチャン市内のみならず、近隣のタイやベトナムからの利用も増えている。最近では日本やヨーロッパからのアクセスも増加しており、旅行者が現地で利用する移動支援ツールとしても活用されるだけでなく、訪問前の観光ルートの検討にも活用されていると推測している。

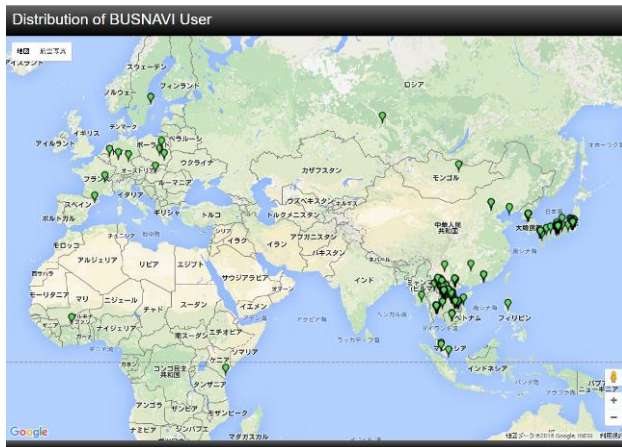


図4 海外に拡大するバスロケユーザ

(5) バス走行速度分布解析

導入したシステムでは、バスの位置情報と走行速度を1秒ごとに取得している。この情報を用いてバスの走行速度分布をヒートマップ表示し、利用者や道路管理者に提供している。ビエンチャン市内の交通渋滞が激しい区間ではバスの到着予想が難しいが、渋滞状況を見ることで到着時間の見通しをつけることができる。また運行管理者は渋滞が激しく運行頻度の維持が難しい場合は、バスの追加投入を行うなどの対策を検討することができる。

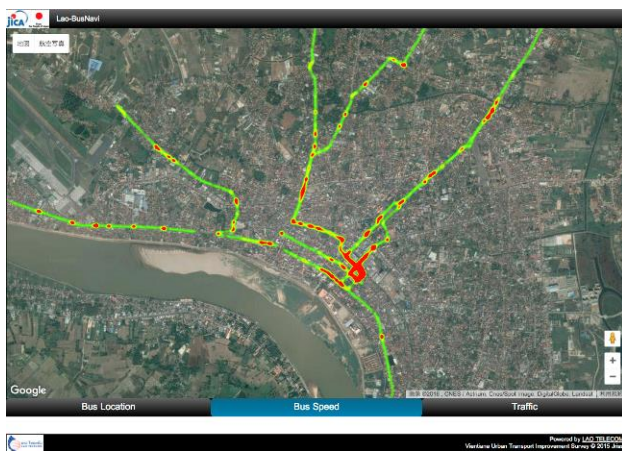


図5 バス走行速度の分布

3. WiFi パケットセンサー

(1) WiFi パケットセンサーとは

Wi-Fi パケットセンサーとは、スマートフォン等のWi-Fi 機能を持つ機器がアクセスポイントとの接続のために定期的に発するビーコン・パケットを、主要交差点付近に設置したセンサーにより受信し、パケットに含まれる機器固有情報 (MAC アドレス) により、交通量や移動速度を計測するシステム²³⁾である。観測パケットには通信内容を含まず、また観測データ単独で個人を特定することはできない。しかし個人の追跡可能性を有するパーソナル情報であるため、ハッシュ関数による匿名化や通信時の暗号化などの対策を行っている。

センサーの仕組みは非常にシンプルで、コストも1台25万円程度と安く、維持管理や運用も容易である。

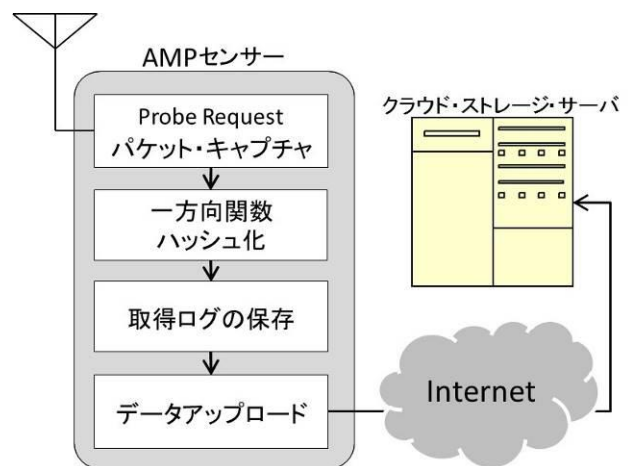


図6 WiFi パケットセンサーの仕組み

(2) ビエンチャン市内への設置

2015年10月より、ビエンチャン市内に27台のWi-Fi パケットセンサーを設置し、交通流の常時観測を開始した。図7は市内の主要交差点にある交通警察の派出所にWi-Fi パケットセンサーを設置した様子である。

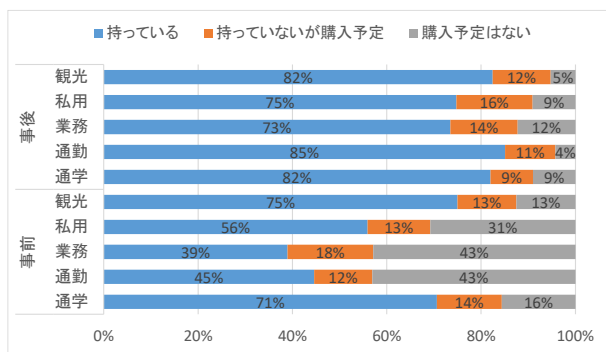


図7 交通警察の派出所に設置したセンサー

(3) スマートフォンの保有率

パケットセンサーから得られるユニーク ID の数は、歩行者やドライバー・同乗者が保有するスマートフォン

の数に比例する。従って、自動車交通量ではなく付近を通行する人の流動量に相関するデータとなる。スマートフォンを保有し、かつ WiFi をオンにしている人の割合は、地域や時間帯によりばらつきがあるが、日本では 30~50% 程度である。ビエンチャンにおけるアンケート調査結果（図 8）によれば、スマートフォンの保有率は 2015 年 8 月には 50% 程度であったものが 2016 年 5 月には 80% と急増しており、保有率は日本より高い傾向にある。このような短期間でスマートフォン保有率が急増することは、発展途上国における特性として、長期のデータ分析において留意すべき点である。



事前：2015年8月 事後：2016年5月

図 8 スマートフォン保有率

(4) 道路区間の所要時間・走行速度の計測

センサーから送られてくるデータをもとに、10 分ごとの道路区間の平均走行速度や所要時間を計算し、インターネットで配信している。また交差点間の流動量などもリアルタイムに解析をすることができる。

図 8 は道路区間の走行速度分布を配信している例であり、図 9 は交差点間流動量の OD グラフである。

道路の渋滞情報はバス利用者だけではなく、一般の自動車利用者にも配信されている。また道路区間の所要時間も同時に配信されていることから、自動車利用者がこの情報を活用して渋滞の発生している路線を避けて運行することができる。

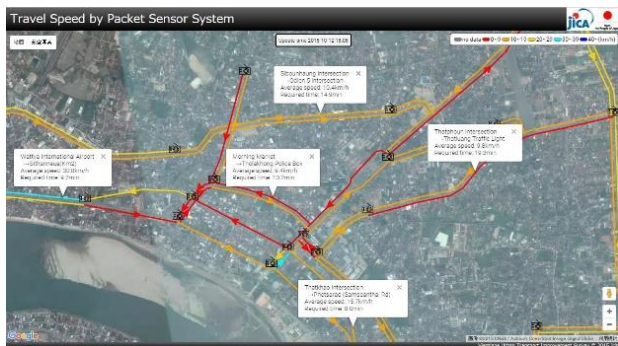


図 9 道路区間の所要時間・平均速度の表示

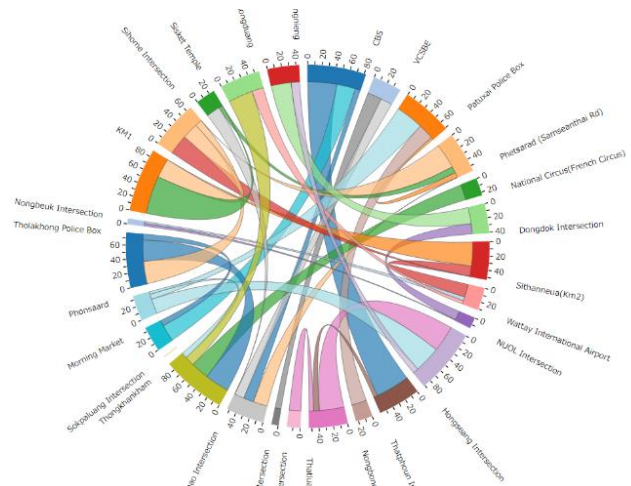


図 10 道路区間の所要時間・平均速度の表示

4. 交通情報の活用とオープンデータ化

(1) 常時観測モニタの設置

バスロケと Wi-Fi パケットセンサーから得られる交通情報は、バス運行管理センターや交通警察、公共事業運輸省に提供している。図 11 はバス運行管理センターに設置した常時観測用モニタである。ここでは 4 画面のモニタを使って、バス位置情報、バス速度情報、Wi-Fi パケットセンサーによる道路区間走行速度情報、バス車両別の運行状況、利用者の時空間分布解析などの情報が表示される。

交通警察や公共事業運輸省でも、それぞれ必要とする情報を選択して、大画面モニタでの観測が行われている。



図 11 バス運行管理室の常設モニタ

(2) オープンデータ化と大学・企業連携

計測された情報は、専用サイトからオープンデータとして提供している。このオープンデータを利用して、ラオス国立大学と連携してデータ活用のためのセミナーやシンポジウムを開催した。また学生や現地民間企業のエンジニアが参加するハッカソンを開催した。このシンポジウムの様子を図 12 に示している。

2017 年には、現地 IT 企業が開発した観光案内と連携するスマートフォンアプリの提供が開始された。



図 12 ラオス国立大学で実施したセミナー

5. バス利用促進効果

(1) 事前事後アンケート調査の実施

本システムの導入の前後で、CBS や大学、中高生の通学する塾、バス車内等でアンケート調査を実施した。アンケートの実施時期は事前調査が 2015 年 8 月、事後調査を 2016 年 5 月である。有効回収数は事前調査が 382 票、事後調査が 341 票である。

事前調査の時点では、大学が前期試験期間終了期と重なり大学内での調査ができなかったが、これに替わるサンプルとして中高生が主体の学習塾の協力を得て調査を行った。ビエンチャンでは大学生・中高生のスマートフォン保有率は極めて高い。この理由は SIM フリースマートフォンの普及により、安価な中古製品の入手が可能であることから、日本よりも遥かに安い初期費用でスマートフォンを所有できるためである。

図 13 に、事前事後調査におけるバス利用目的構成を示している。事後調査において観光利用の割合が高くなっているが、この理由は本システムの普及活動のためにホテルやゲストハウスにバスロケ利用促進のための PR 活動を行った結果であると考えられる。

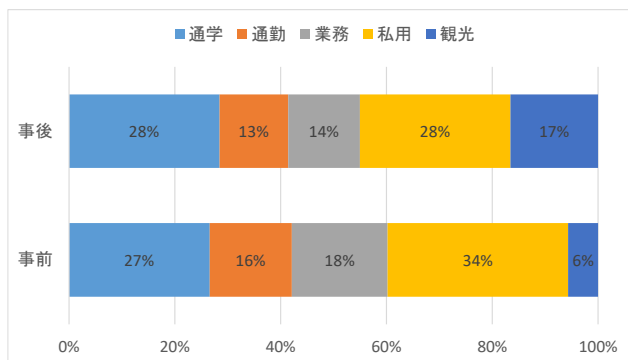


図 13 事前事後アンケート調査の目的構成

(2) バス利用促進効果

バスロケの導入前後におけるバス利用者数のカウント

調査は行えなかったが、バス車内の状況の視認によれば、明らかにバス利用者数は増加している。図 14 はバス利用者に対するシステム導入によるバス利用の変化を質問した結果である。バス利用目的により傾向に差はあるものの、34~47%の利用者で「バス利用が増えた」と回答している。また 25~60%の利用者が「バスの待ち時間が減った」と回答している。なお通勤利用ではバスの待ち時間が「変わらない」と回答している割合が高いが、始業・終業時間が固定している場合は、バス運行頻度が増えているわけではないため、実質的なバス待ち時間が「変わらない」という回答が多かったのではないかと分析している。

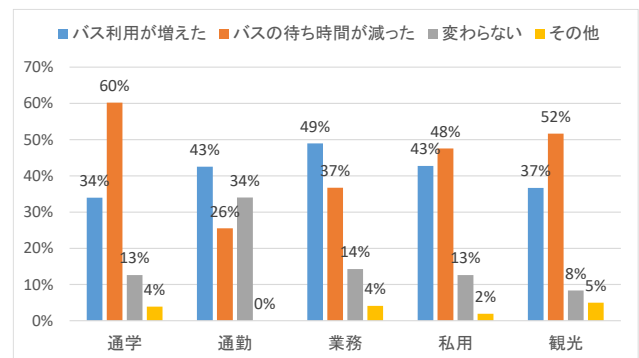


図 14 バスロケ導入によるバス利用の変化

(3) バス情報の認知度の向上

事前事後調査において、本システムの導入により、①バスルート ②バス運行頻度 ③路線ごとの運賃の3つについて認知度がどのように変化したかを調査した。事後調査の実施時点では、バスロケの運用から1年も経過していないため情報認知にはもう少し時間が必要であると考えていたのであるが、想定以上の認知度向上が見られた。この結果を図 15 に示している。

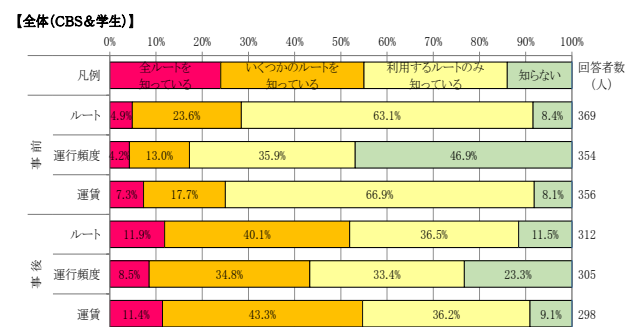


図 15 バス運行に関する認知度の変化

導入したバスロケは、運行されている全バス路線がマップ上に一覧表示され、さらに各路線ごとのすべてのバスの位置がリアルタイムに確認できる。また路線やバスをクリックすると運賃が表示される仕組みとなっている。

事前調査では、自分が利用しているバスルート以外の情報を知っている利用者は、全体の 20~30%に過ぎない状況であったが、システム導入後はこの割合は 45~55%と大きく拡大した。このバス運行に関する認知度の向上が図 13 に示したバス利用拡大の結果に大きく影響したものと考えている。

また路線バスに関する情報だけではなく、市内主要道路の渋滞状況に関する情報をバスロケ情報と同時に配信しているため、日頃はバスを利用しない自動車・バイク利用ユーザにもバス運行状況の認知が進んだのであろう。

6. 普及促進のための取り組み

バスロケーションや渋滞情報の提供は、市民や関係機関に対する十分な告知が行われなければ、効果は発現しない。本事業は取り組みのプロセスの中で、さまざまな普及促進・広報活動を行った。

5.において示した事前事後アンケートの実施の際には、図 16 に示すポケットティッシュを配布した。日本では販促ツールとしてポケットティッシュは一般的であるが開発途上国では大変珍しい。アンケート協力者以外でもセミナーやシンポジウム、関係機関への告知協力の際に配布を行った。配布数は合計 6,000 個であった。



図 16 利用促進のためのポケットティッシュの配布



図 17 バス車内へのポスターの掲出

バス車内には、図 17 に示すポスターを掲出した。このポスターには関係機関のロゴマークの他、地元の携帯電話会社である Lao Telecom のロゴを掲出している。Lao Telecom 社は本事業の年間運営費の中で最も大きな割合を占める通信費を無償で提供してくれた。

さらに外国人観光客が宿泊するゲストハウスやホテルのフロントに利用案内を掲出した。この効果は図 4 に示した通りで、利用した観光客が SNS 等で情報拡散を行った結果であると思われるが、半年ほどの期間で世界各国に利用者が拡大することとなった。



図 18 ホテル・ゲストハウスへの案内掲出

7. 今後の活用

(1) 道路管理での活用

ラオスではバス利用促進や渋滞情報の道路利用者への提供などを通して、一定の導入効果は得られたと考えているが、取得した情報は今後より幅広い目的で活用できると考えている。

例えば図 19 は交差点間の走行速度分布を示している。例えば渋滞が発生していないにも関わらず、道路の走行速度が著しく低下する区間では、ポッドホールによる路面の損傷を疑ったり、降雨時に速度低下が発生する区間では冠水の影響を疑うなど、Big Data の蓄積と活用により、幅広い分野への応用の可能性がある。今後の検討課題である。

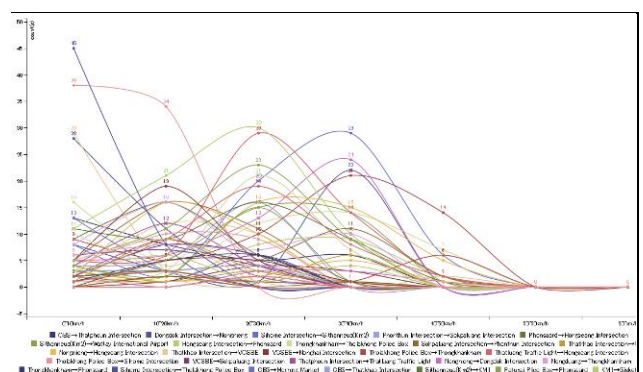


図 19 パケットセンサーによる道路区間の速度分布

(2) 日本国内外への展開

ラオスでの展開の成果をもとに、日本国内でも活用を進めている。Wi-Fi パケットセンサーについては京都府北部の海の京都における観光流動解析⁹⁾や、飛騨高山における観光流動解析⁹⁾などで活用が行われている。また筆者等が開発したバスロケは明石市 Taco バス、神戸市みなと観光バスの他、いくつかの自治体から活用の申し出がある。特に Wi-Fi パケットセンサーについては個人情報保護の観点から、調査目的や調査地点における十分な告知を行い、オプトアウト手段を明示するなどの対応を行った上で実施する必要がある。日本国内では既に多くの調査実績をもとに、個人情報保護のための知見を蓄積しているが、海外では各国の法制度に適合した対応が必要となっている。現在ケニア国ナイロビにおける交通調査に活用すべく、現地機関との協議を行っているが、調査実施前に新聞告知を含むパブリック・コンサルテーション（日本でいうパブコメ）の実施を予定している。

また、データ活用のための研究開発についてはまだ緒についたばかりであり、本調査手法に興味をお持ちの関係研究者の方々と連携して、今後も活用の方策を探っていききたい。

8. まとめ

ラオスに導入したバスロケと Wi-Fi パケットセンサーは、ローコストで設置も容易である。機器本体の価格や設置工事費、維持管理費が安価であり、WEB ブラウザを使って簡単にシステム管理ができるため、予算や人的資源に制約のある他の開発途上国等への応用の可能性は高いと考えている。

今後は海外だけではなく、日本国内でも同様の課題に悩む地方部のコミュニティバスなどへの導入の他、PT

調査・OD 調査を補完する調査手法としても研究開発を進めていきたい。

謝辞：本事業は、独立行政法人国際協力機構（JICA）の「2014 年度中小企業 海外展開支援事業 ラオス国 バス位置情報と Wi-Fi パケットセンサーを活用したバス利用促進のための交通情報サービスの普及・実証事業」の適用を受けて実施したものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 株式会社社会システム総合研究所，ラオス国ビエンチャン市都市交通改善のための位置情報・交通観測システム普及・実証事業報告書，2016 年 10 月
- 2) Junji NISHIDA・Tomoyuki ADACHI・Kazuhiko MAKIMURA, Traffic Flow Analysis by the Use of Wi-Fi Packets Receiver, 1st IRF Asia Resional Congress & Exhibition, 2014
- 3) 西田純二，足立智之，牧村和彦，森本哲郎，上善恒雄："Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析"，土木学会第 49 回土木計画学研究発表会春大会，2014.
- 4) 西田純二，森本哲郎，浅尾啓明，松本浩之 "みんなが使えるバスロケーションシステムで公共交通の利用促進"，土木学会第 51 回土木計画学研究発表会春大会，2015.
- 5) 廣川和希，笹圭樹，和泉範之，絹田裕一，牧村和彦，西田純二，Wi-Fi パケットセンサーを用いた人の行動実態の把握～観光都市・飛騨高山での活用に向けて～，第 54 回土木計画学研究発表会・秋大会，2016.
- 6) 浅尾啓明，森本 哲郎，望月 祐洋，西田 純二，安東 直紀，Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析，第 53 回土木計画学研究発表会・春大会，2016.
- 7) 西田純二，ラオス国ビエンチャン市におけるバスロケシステムと Wi-Fi パケットセンサーを用いた低コスト都市交通観測システム，交通工学第 51 巻 4 号，交通工学研究会，2016 年 10 月

(2017. 4. 28 受付)

Practical use of the bus location system and the traffic observation system in Lao PDR

Junji NISHIDA, Tetsuro MORIMOTO, Shota SHIRAHAMA, Hiroaki ASAO, Fumiko TSUJIDO, Tsuneo JOZEN