

動線データを活用した都市活動の継続的な モニタリングに関する研究 ～つくば市での交通施策への活用を目指して～

廣川 和希¹・重高 浩一²・長島 芳行³・名田 雅希³・
橋本 浩良⁴・関谷 浩孝⁴・今井 龍一⁵・石田 東生⁶

¹正会員 一般財団法人計量計画研究所 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: khiroka@ibs.or.jp

²正会員 内閣府 政策統括官(防災担当)付 前 国土交通省 国土技術政策総合研究所
(〒100-8914 東京都千代田区永田町1-6-1) E-mail: koichi.shigetaka.z3r@cao.go.jp

³非会員 つくば市 (〒305-8555 茨城県つくば市研究学園1-1-1)
E-mail: tnp001@info.tsukuba.ibaraki.jp, tnp041@info.tsukuba.ibaraki.jp

⁴正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: hashimoto-h22ab@nilim.go.jp, sekiya-h92tb@nilim.go.jp

⁵正会員 東京都市大学 工学部 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)
E-mail: imair@tcu.ac.jp

⁶正会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail: ishida@sk.tsukuba.ac.jp

つくば市では、2013年3月に「環境モデル都市」に選定されたことを受け、行動計画「つくば環境スタイル“SMILE”」を策定し、人々の暮らしに起因するCO₂を重点的に削減するための施策を推進している。これらの施策の効果を評価し、それに伴う適切な改善案を検討していくPDCAサイクルを実現するには、人や車の行動を継続的にモニタリングしていく必要がある。

本稿は、つくばモビリティ・交通研究会の3年目の活動成果の一部である公共交通(バス)の運行状況に関する分析・可視化および経年比較の結果を報告し、都市交通施策への活用可能性と今後の展開に向けた課題を考察する。

Key Words : trail data, urban activities, environmental model city, public transportation management

1. はじめに

都市活動の現状を把握するには、都市圏パーソントリップ調査や道路交通センサス、大都市交通センサスなどの統計調査データを用いることが一般的である。これらの統計調査データは、個人属性(性別、年齢や職業など)や車種毎の詳細な移動状況(移動の発着地、発着時間、移動目的や移動手段など)を把握できる。しかし、1年のうちの特定日を調査対象としているため、曜日や季節などの変動を捉えられない。また、調査の実施頻度は5~10年に1度の場合が多く、経年変化の把握ができない。このため、実態に基づくきめ細やかな施策の検討や、施策のPDCAサイクルの“C”に該当するモニタリン

グ・評価が現行の統計調査データのみでは十分に実施できていないことが既往研究でも指摘されている¹⁾²⁾。

この課題の解決策として、情報通信技術を用いた人や車の移動に関する大量の情報(以下「動線データ」という。)を24時間365日取得、活用可能な環境が発展しており、都市交通分野への活用の研究も活発化している³⁾⁷⁾。また、統計調査データおよび動線データの双方の特長を活かした組合せ分析も試行されている⁸⁾⁹⁾。

このような背景の下、つくば市、筑波大学および国土交通省国土技術政策総合研究所の三者が主体となり、統計調査データと動線データとを組合せた「都市活動の持続的なモニタリング」および「PDCAサイクルの運営手法の確立」を目的とする「つくばモビリティ・交通研究

会」が 2013 年 8 月に設立された¹⁰⁾。1 年目は、各種データの収集と特性を把握した上で、組合せ分析を試行し、分析結果の活用可能性を確認している¹¹⁾。2 年目は、具体的なつくば市の施策への活用を想定したユースケースを分析し、施策毎の分析・可視化への要件を抽出し、組合せ分析を試行している¹²⁾。3 年目は、これまでの分析・可視化を継続しつつ、とくに経年変化の把握に着目して取り組んでいる。また、3 年連続して、持続可能な都市活動のモニタリングや PDCA サイクルの運用モデルの議論が重ねられている。このように、研究会では、産学官の関係者が密接に連携し、市の施策への活用を想定したニーズ側からの視点で活動している。

本稿は、つくばモビリティ・交通研究会の 3 年目の活動成果の一部である公共交通（バス）の運行状況に関する分析・可視化および経年比較の結果を報告し、都市交通施策への活用可能性と今後の展開に向けた課題を考察する。具体的には、まず、第 2 章でバスの運行に関するデータの種類と収集状況を整理する。その上で、第 3 章で公共交通（バス）の運行状況に関する分析・可視化および経年比較の結果を整理し、第 4 章で分析結果に基づいた交通施策への活用可能性と今後の展開に向けた課題を考察する。

2. バスの運行に関するデータの種類と収集状況

本章では、つくばモビリティ・交通研究会で収集しているバスの運行に関するデータの種類と収集状況を整理する。つくば市内を走行するバスは、関東鉄道（株）と関連企業が運行する“路線バス”と、つくば市が運行するコミュニティバスの“つくバス”があり、本稿はこの 2 種類を対象とする。

(1) バス輸送実績（バス停別利用者数）

バス輸送実績は、バス停別の利用者数をとりまとめた統計調査データである。研究会では、2014 年度より毎年 11 月の 1 ヶ月間を対象に、つくバスの便別バス停別乗降者数を収集している（表-1）。

(2) バスプローブデータ

バスプローブデータは、車載型 GPS ロガーから収集するバス車両の動線データである。研究会では、2013 年度より毎年秋から冬にかけての約 1 ヶ月を対象に、つくば市内を走行する路線バスとつくバスとに車載型 GPS ロガーを設置し、緯度経度や加速度などの走行情報を収集している（表-2）。

表-1 バス輸送実績（バス停別利用者数）の収集状況

年度	期間	対象	収集データ
2014 年	2014 年 11 月	つくバス 全 6 路線	・便別バス停別乗降者数
2015 年	2015 年 11 月	つくバス 全 6 路線	・便別バス停別乗降者数

表-2 バスプローブデータの収集状況

年度	期間	対象	収集データ
2013 年	2013 年 11 月 ～12 月	つくバス 全 22 台	・緯度経度 ・加速度
		路線バス 6 台	
2014 年	2014 年 12 月 ～2015 年 1 月	つくバス 全 22 台	・緯度経度 ・加速度
		路線バス 6 台	
2015 年	2015 年 11 月	つくバス 全 22 台 路線バス 1 台 (筑波山シャトル)	・緯度経度 ・加速度

表-3 バスネットワークデータの収集状況

年度	期間	対象	収集データ
2013 年	2013 年 11 月	つくバス	・バス停位置情報 ・バス路線運行経路情報
	2010 年 10 月	路線バス (国土数値情報)	
2014 年	2014 年 11 月	つくバス	・バス停位置情報 ・バス路線運行経路情報
	2010 年 10 月	路線バス (国土数値情報)	
2015 年	2015 年 11 月	つくバス	・バス停位置情報 ・バス路線運行経路情報
	2015 年 11 月	路線バス (最新のバス情報に更新)	

(3) バスネットワークデータ

バスネットワークデータは、バス停の位置やバス路線の運行経路である。統計調査データや動線データを分析・可視化する際の地図基盤であり、研究会では、2013 年度よりつくバスのバス停位置情報やバス路線の運行経路情報の GIS データを整備している。また、2015 年には、関東鉄道（株）の協力の下、路線バスのバス停位置や路線運行経路を 2015 年 11 月時点で更新している（表-3）。

このように、つくばモビリティ・交通研究会では、参画主体の協力の下、つくば市内を走行するバスの運行に関する統計調査データ、動線データおよび地図基盤を経年的に収集している。また、年度毎に分析・可視化を行う中で、分析手法の高度化・精緻化の可能性の研究と併せて、データの利用に係わる制約条件および施策への活用可能性を整理・検討している。

3. 公共交通の運行状況に関する経年比較

本章では、つくばモビリティ・交通研究会における公共交通（バス）の運行状況に関する分析・可視化および

経年比較結果として、以下の3つの指標を整理する。

(1) 利用者数

バスの利用者数は、バス停の新設や移設による経年変化に対応するため、1kmメッシュ単位に変換した上で分析・可視化を行う。

2015年11月のつくバス利用者数と前年同月の利用者数との比較結果を図-1に示す。つくバス利用者は、つくば駅や研究学園駅などの鉄道駅周辺に多い。また、2014年11月と2015年11月のつくバス利用者数を比較すると、つくば市全体で1ヶ月当たり約4,000人利用者が増加しており、特に鉄道駅周辺に利用者数が増加したエリアが多くみられる。

この要因を究明するため、研究会で別途分析・可視化を行っている行政区別居住人口と比較する(図-2)。居住人口は、2014年11月から2015年11月にかけて、研究学園駅周辺エリアで増加しており、バス利用者数の増加エリアと一致する。バス利用者が増加しているその他のエリアも研究機関や企業などの施設が立地しており、昼間人口が比較的多いエリアと考えられる。この昼間人口の実態を把握するには、動線データの1つである携帯電話網の運用データを基にした時間帯別の人口分布統計の活用が考えられる。ただし、人口分布統計を活用する際は、パーソントリップ調査結果と推計手法に差異のあることが既往研究²⁾にて指摘されていることに注意する必要がある。

このように、居住人口や昼間人口とバス利用者数の変化を継続的にモニタリングすることで、開発状況を踏まえた新規路線の検討や路線の再編などの実態に基づくきめ細かな施策の検討が可能となる。

(2) 運行実績

バスの運行実績は、運行ダイヤとバス車両の運行実績(走行時の位置情報)を地図基盤であるバス停位置情報に対応付けて分析・可視化する。

つくバスの路線1(下り)の2015年11月の1ヶ月間の運行ダイヤと運行実績とをTime-Space図で可視化した結果を図-3に示す。図中のDバス停は、一部の便の終着バス停となっている。また、つくバスは全路線で平日休日とも同じ運行ダイヤが設定されている。路線1(下り)の運行ダイヤと運行実績を比較すると、日中時間帯は、平日に対して休日の運行ダイヤの方が遅れが大きくなっている。このうち、A駅からCバス停までの区間は、周辺に大型商業施設が立地している影響で、休日の昼間時間帯に混雑が見られる区間である(図-4)。また、Bバス停はつくば市の公共施設に隣接し、休日の利用者が非常に少ない。このような状況を踏まえると、休日の日中時間帯を対象に運行ダイヤを変更したり、当該時間帯のみ

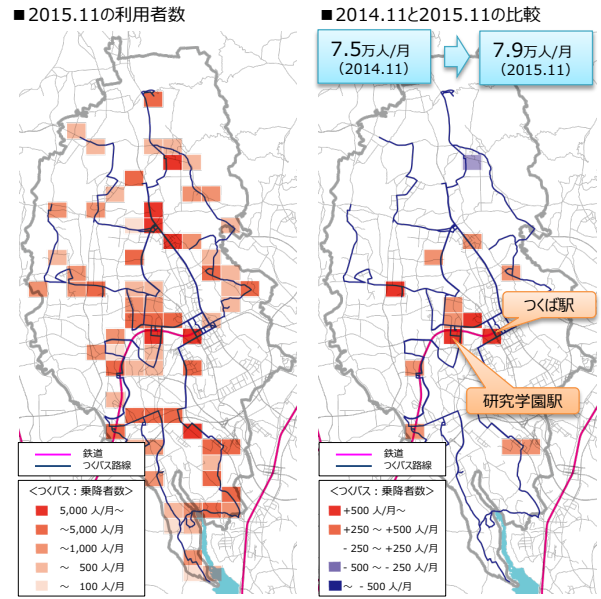


図-1 メッシュ別バス利用者数と経年比較

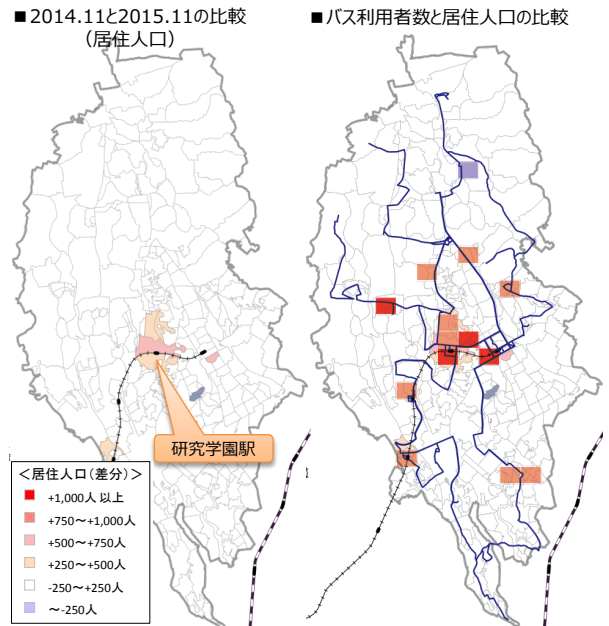


図-2 居住人口の経年比較とバス利用者数との比較

Bバス停を経由せず、A駅から直接Cバス停へ向かうなど時間帯に応じて運行路線を変更するといった対応策が考えられる。

次に、別の分析・可視化の視点として、路線2と路線3の平日朝ピーク時間帯(7~8時台)におけるつくば駅への到着遅れ時間の累積分布を図-5に示す。ここで、運行ダイヤに対する運行実績の到着時間が早着の場合は、0分に区分する。両路線とも遅れが発生している便は全体の半数以下であり、遅れ時間が7分以内に95%の確率でつくば駅に到着できている。朝ピーク時間帯でも定時性が高い点がつくバス利用者数が増加している要因のひとつと考えられる。

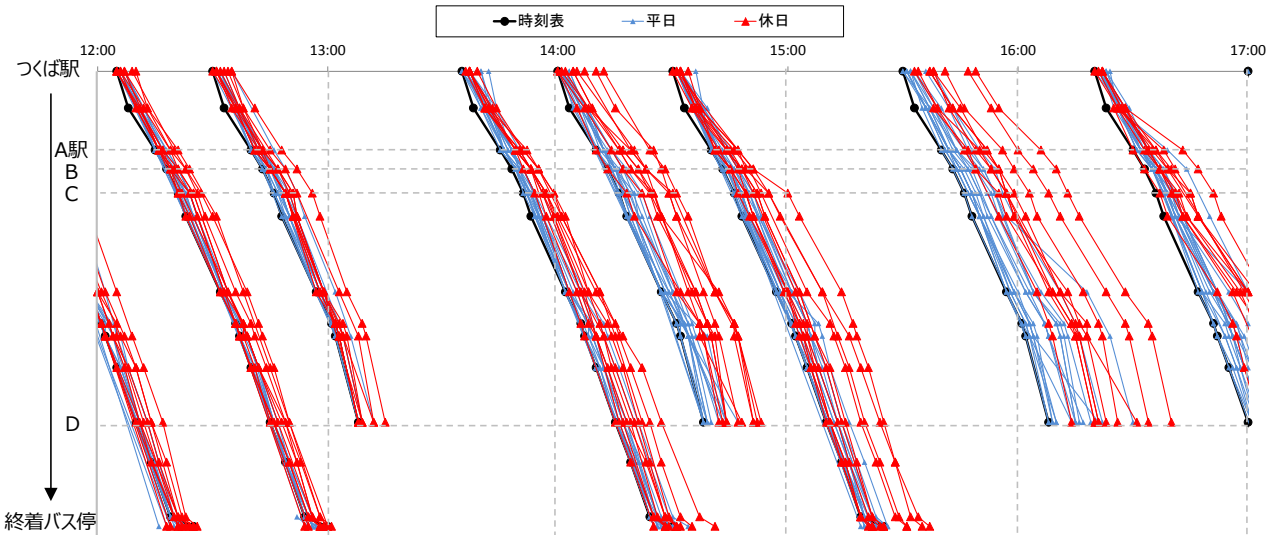


図-3 つくバスの運行ダイヤと運行実績（路線1（下り）12～17時）

このように、バスの運行実績を継続的にモニタリングすることで、特定の時間帯における運行ダイヤの変更や特定の区間の運行経路の見直しなどの運行実態に基づくきめ細かな施策の検討が可能となる。

(3) 拠点への等時間アクセス圏域とカバー人口

バスによる拠点への等時間アクセス圏域やカバー人口は、バスプローブデータおよびバスネットワークデータより算定するリンク別旅行速度やメッシュ別人口データから分析・可視化する。

2014年度（2014年12月から2015年1月）と2015年度（2015年11月）のつくば市内各地からつくば市役所へのバスを利用した場合の等時間アクセス圏域を図-6に、対応するカバー人口を図-7にそれぞれ示す。ここで、2015年度のバスプローブデータは、路線バスが1路線のみ収集されている。このため、データ未取得の路線は、2014年度のプローブデータを用いてリンク別旅行速度を算定した。2014年度につくば市役所までのアクセスに60分以上を要していた複数のエリアが、2015年度では、60分以内にアクセス可能となっており、市全体では全人口の5%ほどのアクセス性が向上している。一方、30分以内圏域のカバー人口は若干低下している。この期間中にバス運行に関する大きな変更（運行ダイヤや運行経路の変更など）は行われていない点を踏まえると、2014年度と2015年度との差は、比較対象月の差による影響と考えられる（2014年度はデータ取得日が年度末の道路交通量が比較的多い時期）。このように、バスのサービス状況を継続的にモニタリングすることで、実態状況を踏まえた新規路線の検討や路線の再編などの実態に基づくきめ細かな施策の検討が可能となる。

なお、本研究ではカバー人口を算定する際のメッシュ

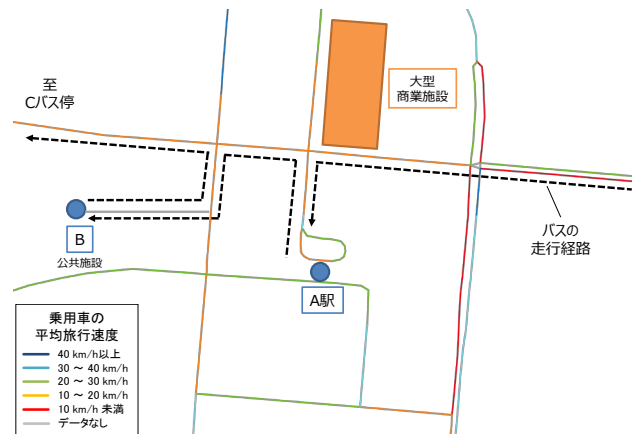


図-4 路線1のA駅からCバス停にかけての運行経路と乗用車の平均旅行速度（休日14時台、2015年11月）

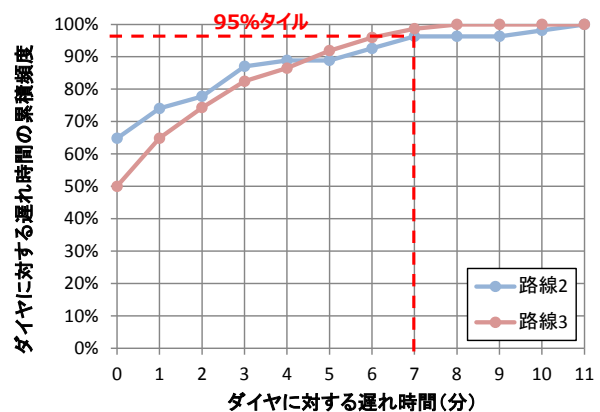


図-5 路線2、3のつくば駅への到着遅れ時間の累積分布

別人口データには、平成22年度の国勢調査データを用いている。より精緻に分析する場合は、(1)のバス利用者数で整理したように、行政区別居住人口や携帯電話網の

運用データを基にした時間帯別の人口分布統計などの各種データを活用することが考えられる。

4. 分析結果に基づく交通施策への活用可能性と今後の展開に向けた課題

本章では、第 3 章の分析結果を基につくば市や他都市での都市交通施策への活用可能性を考察する。また、今後の展開に向けた課題を考察する。

(1) 分析結果に基づく交通施策への活用可能性

3 章の分析・可視化結果から公共交通（バス）の運行実態に基づく「きめ細かな様々な施策の検討」や施策の PDCA サイクルの“C”に該当する「モニタリング・評価」を行っていく上では、継続的な分析・可視化が有効であるといえる。この点を踏まえ、つくば市では、公共交通（バス）に関する都市交通施策の計画や検討に研究会の成果を活用している。例えば、3 章 (3) の拠点からの等時間アクセス圏域やカバー人口は、つくば市地域公共交通網形成計画の「現況分析」や「評価指標項目」の 1 つとして、また 3 章 (2) のバスの遅れ状況は、他交通機関との乗継ダイヤの検討に活用されている。

さらに、他都市における総合交通戦略の評価指標を確認すると、同戦略を策定している 66 の地方公共団体（2015 年 4 月時点）のうち、約 2 割が公共交通によるカバーエリアやカバー人口を評価指標で採用している¹³⁾。このため、研究会の成果である第 3 章の分析・可視化は、他都市への展開が十分可能であるといえる。

(2) 今後の展開に向けた課題

継続的に公共交通（バス）の運行実態を分析・可視化していくためには、活用シーンに応じた「メッシュ別人口データ」の整備が必要となる。その際の課題としては、行政区別居住人口のメッシュ単位への変換や、メッシュ別の昼間人口の設定などがあげられる。また、統計調査データや動線データに合わせて、地図基盤も継続的に更新していく必要がある。とくにバスの運行経路は、道路ネットワークの整備状況の影響を受けやすい（新規道路の開通に合わせた運行経路の変更など）。このため、高い鮮度を確保したデータの更新が課題である。さらに、これまでの研究会でも検討されているデータの収集や分析・可視化を継続的に行って、つくば市以外の他都市での展開を想定した持続可能な運用モデルを検討していくことが課題である。

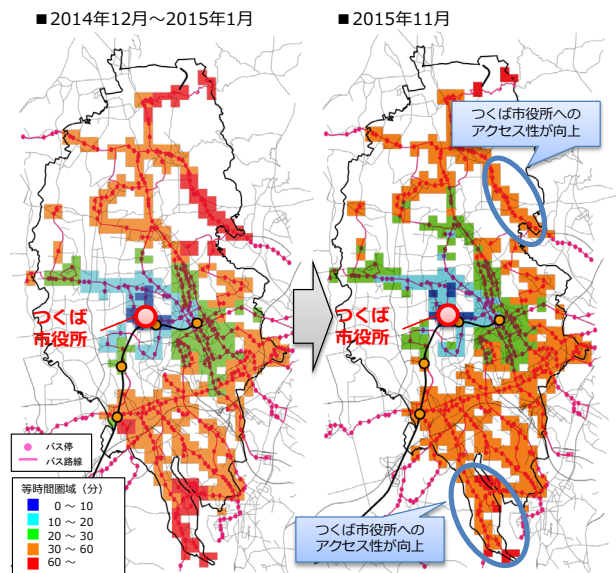


図-6 つくば市役所へのバスによる等時間アクセス圏域

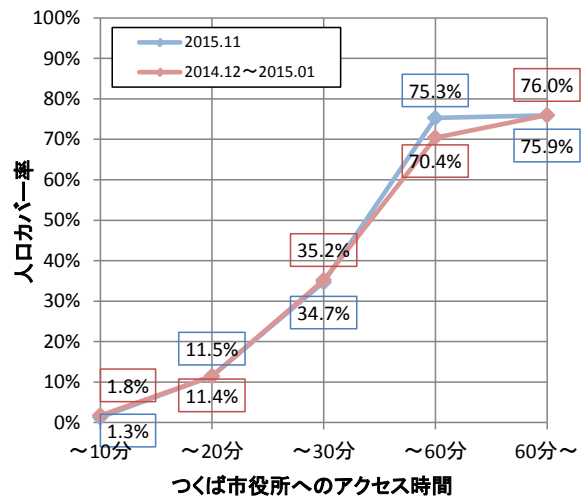


図-7 つくば市役所へのバスによる等時間アクセス圏域のカバー人口

5. おわりに

本稿は、つくばモビリティ・交通研究会の3年目の活動成果の一部である公共交通（バス）の運行状況に関する分析・可視化および経年比較の結果を報告し、都市交通施策への活用可能性および今後の展開に向けた課題を考察した。今後は、前章で述べた今後の展開に向けた課題を念頭に、つくば市や他都市での展開を図る。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、つくばモビリティ・交通研究会の参加者および各データの保有主体の方々には多大なご協力を賜った。とくに、公益社団法人土木学会の塚田専務理事には貴重なご意見を賜った。また、関東鉄道株式会社には、バスの運行実態に関する様々なデータ

の収集に多大なご協力を賜った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 石田東生, 小向太郎, 渡田滋彦, 中村正, 谷島賢: 交通政策・運用・調査とビッグデータ, 交通工学, Vol.50, No.1, pp.8-17, 交通工学研究会, 2015.1
- 2) 井上直, 石神孝裕, 石井良治, 中野敦, 菊池雅彦, 前川敦: 交通関連ビッグデータを踏まえた都市交通体系調査のあり方, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, 土木学会, 2016.6
- 3) 今井龍一, 藤岡啓太郎, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 矢部努, 重高浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計の都市交通分野への適用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, 土木学会, 2015.11
- 4) 梶原康至, 小竹輝幸, 太田恒平: プローブと経路探索条件データの融合による観光・商業ストック効果の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, 土木学会, 2016.6
- 5) 城所貴之, 柳昌吾, 小木曾俊夫, 牧野浩志, 岩本喜洋: ETC 車載器を用いた調査手法による車両流動調査等の分析に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, 土木学会, 2016.6
- 6) 堀田光太郎, 上金大輝, 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: バスロケータとデジタコデータによる路線バスの急減速発生状況の分析, 第 35 回交通工学研究発表会論文集, 交通工学研究会, 2015.8
- 7) 鹿野島秀行, 鈴木一史, 野中康弘, 牧野浩志: ETC2.0 プローブデータの高速道路単路部ボトルネック分析への適用, 第 35 回交通工学研究発表会論文集, 交通工学研究会, 2015.8
- 8) 今井龍一, 深田雅之, 重高浩一, 矢部努, 牧村和彦, 足立龍太郎: 多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, 土木学会, 2013.11
- 9) 吉田純土, 森尾淳, 中野敦, 山口高康, 池田大造, 今井龍一: 都市交通分野における携帯電話基地局データとパーソントリップ調査の組み合わせ分析に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, 2016.6
- 10) つくば市: つくば市の『人の動き (都市活動)』を把握〜<つくばモビリティ・交通研究会>, https://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/015/445/No77.pdf, 2016.07 入手
- 11) 今井龍一, 田嶋聡司, 矢部努, 塚田幸広, 重高浩一, 橋本浩良, 山王一郎, 石田東生: 動線データを活用した都市活動のモニタリング手法に関する研究〜「環境モデル都市・つくば」におけるつくばモビリティ・交通研究会の取り組み〜, 土木計画学研究・講演集, Vol.50, 土木学会, 2014.11
- 12) 今井龍一, 田嶋聡司, 矢部努, 塚田幸広, 重高浩一, 橋本浩良, 山王一郎, 石田東生: 動線データを活用した都市活動のモニタリングの持続的な運用に向けた取り組み〜「環境モデル都市・つくば」におけるつくばモビリティ・交通研究会の活動報告〜, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.51, 2015.6
- 13) 太田勝也, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口分布統計を用いた公共交通カバーエリア内の人口動態分析, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016.3

(2016. 7. 29 受付)

MONITORING METHODOLOGY OF URBAN ACTIVITY AND SUSTAINABLE MANAGEMENT USING MULTI-TRAIL DATA

Kazuki HIROKAWA, Koichi SHIGETAKA, Yoshiyuki NAGASHIMA, Masaki NADA,
Hiroyoshi HASHIMOTO, Hirotaka SEKIYA, Ryuichi IMAI, and Haruo ISHIDA