

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～

今井 龍一¹・田嶋 聡司²・矢部 努³・塚田 幸広⁴・重高 浩一⁵・
橋本 浩良⁵・山王 一郎⁶・石田 東生⁷

¹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)
前 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番地)
E-mail: imair@tcu.ac.jp

²非会員 富士通株式会社 セーフティソリューション事業本部 (〒211-0011 川崎市中原区下沼部1812-10)
前 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番地)
E-mail: tajima.satoshi@jp.fujitsu.com

³正会員 一般財団法人 計量計画研究所 社会基盤計画研究室 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: tyabe@ibs.or.jp

⁴正会員 前 独立行政法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

⁵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番地)

⁶非会員 国土交通省 土地・建設産業局 建設業課 建設業適正取引推進指導室
(〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)
前 つくば市環境生活部 (〒305-8555 茨城県つくば市苅間2530番地2)

⁷正会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

つくば市は「環境モデル都市」として、人々の暮らしに起因するCO₂を重点的に削減するための行動計画「つくば環境スタイル“SMILe”」を策定し、あらゆる人々が笑顔になる街の実現を目指して各施策に取り組んでいる。“SMILe”の“M”である「Mobility Traffic モビリティ・交通」を戦略的に推進するには、人や車の移動実態（都市活動）の持続的なモニタリングによるPDCAサイクル運営が重要となる。成長を続けているつくば市の都市活動を把握するには、携帯電話やカーナビゲーションシステム等の媒体から収集される鮮度の高い移動実態の把握できる動線データを活用した分析が有効である。

本稿は、“つくばモビリティ・交通研究会”における2か年の活動報告として、各種データの組合せ分析による都市活動のモニタリング手法の持続的な運用に向けた取り組みの結果を報告する。

Key Words : *trial data, urban activities, environmental model city*

1. はじめに

つくば市は1960年代から研究学園として開発が進み、1985年にはつくば科学万博が開催され、現在も国の約3分の1の研究機関、多くの民間研究機関・企業が立地するなど、国際研究開発拠点として成長してきた。

1987年の市町村合併によるつくば市の誕生して以降、同市の人口は現在も増加している。2000年代には高速道

路ではつくばJCT（2003年）およびつくば中央IC（2010年）の開通、公共交通ではつくばエクスプレス（2005年）、つくバス（2006年）およびつくタク（2011年）が開業している。自動車保有台数や交通量も増加を続けており、市内の主な交通手段は自動車であるが、つくばエクスプレス沿線では住宅開発等が進んでいる。

つくば市政に着目すると、2013年3月に環境モデル都市に選定され、人々の暮らしに起因するCO₂を重点的に

削減するための行動計画「つくば環境スタイル"SMILe"」を策定し、次の4つの統合アプローチで、あらゆる人々が笑顔になる街の実現を目指して各施策に取り組んでいる¹⁾。

- ・S：Smart Community（コミュニティエコライフ）
- ・M：Mobility Traffic（モビリティ・交通）
- ・I：Innovation&Technology（最先端技術）
- ・Le：Leaming&Education（環境教育、実践）

このうち、"M"の「Mobility Traffic」を戦略的に推進するには、人や車の移動実態（以下、「都市活動」という。）の持続的なモニタリングによるPDCAサイクル運営が重要となる。

都市活動の把握には、パーソントリップ調査や国勢調査等の統計資料が用いられるのが一般的である。しかし、これら統計資料は、概ね5年～10年の頻度で実施された調査結果のため、目覚ましく成長を続けているつくば市の都市活動を鮮度よく把握するには何かしらの補完が必要になる。その補完策として、携帯電話やカーナビゲーションシステム等の端末から収集されている24時間365日の人の移動情報（以下、「動線データ」という。）を組合せた分析が有効手段になることが期待される²⁾。

このような背景の下、つくば市、筑波大学および国土技術政策総合研究所の3者は、「つくば市の都市活動の持続的なモニタリングによるモビリティ・交通のPDCAサイクルの運営手法の確立」を目的とした産学官構成の「つくばモビリティ・交通研究会」を2013年8月に発足し、次のテーマに取り組んでいる³⁾。

- 1) つくば市の都市活動をモニタリングできる各種データの活用シーンの検討
 - 2) 各種データの収集・蓄積方法の検討
 - 3) 収集した各種データの分析手法の検討
 - 4) 持続的な運用モデル（PDCAサイクル）の検討
- 2013年度は上記1)～3)に取り組み、ケーススタディ

として、「Mobility Traffic」の重点施策である「公共交通体系のマネジメント」に係わる分析を実施した⁴⁾。その結果、統計資料および動線データの組合せ分析は、「公共交通体系のマネジメント」に加えて、つくば市政の様々な施策にも有効な支援策となる知見が得られた。

この知見の下、本研究では、つくば市政への統計資料および動線データの組合せ分析の適用シーンの抽出、各種データの収集・分析および持続的な運用モデルの検討を実施した。本稿は、これらの活動内容を報告する。第2章では、つくば市政の全庁横断的な統計資料および動線データの組合せ分析の適用シーンの抽出結果を報告する。第3章では、抽出結果に基づく各種データの収集結果を報告する。第4章では、各適用シーンに対する分析手法の検討結果および分析結果を報告する。第5章では、前章までの結果に基づき、各種データの組合せ分析による都市活動のモニタリング手法の持続的な運用に向けた考察と今後の課題を述べる。

2. つくば市政における統計資料および動線データの組合せ分析の適用シーンの抽出

つくば市各課では、2013年度の活動成果を元に、統計資料および動線データの組合せ分析の適用シーンを検討した。表-1は、検討結果の適用シーンを示しており、全庁的な取り組みにより、交通以外の分野（防災、防犯、広報や観光等）も抽出することができた。

3. 各種データの収集

本研究では、抽出した各シーンに対してユースケース分析を実施し、各施策の推進で必要となる分析内容やデータを明らかにした。また、データ保有主体へのヒアリング調査等に基づいてデータを収集した。表-2に収集デ

表-1 統計資料および動線データの組合せ分析の適用シーン

No.	成果の活用等の概要	個別施策名
1	つくば市交通政策へのデータ活用	公共交通体系マネジメント 「『つくバス』『つくタク』の利用促進」
2		自転車利用の促進 「自転車のまちつくば行動計画」の中間評価及び計画見直し
3		自転車利用の促進 「自転車のまちつくば行動計画」に基づく施策推進
4	中心市街地再生へのデータ活用	中心市街地再生
5	コミュニティ道路化推進に向けた基礎調査へのデータ活用	コミュニティ道路化の促進 「コミュニティ道路化推進に向けた基礎調査の実施」
6	市内一斉エコ通勤の実施に伴う効果検証へのデータ活用	エコ通勤実施
7	地域防災計画のデータ活用	防災分野（つくば市地域防災計画等）
8	防犯対策へのデータ活用	防犯対策
9	交通安全対策への活用	交通安全対策
10	シティプロモーションへのデータ活用	シティプロモーション
11	観光動態調査へのデータ活用	観光動態調査
12	CO2排出量の把握に向けたデータ活用	（取り組み全般）

ータの一覧を示す。「つくバス」および「つくタク」の公共交通や人の回遊に係わる動線データは、スマートフォンアプリ⁹⁾や車載型GPSロガーを用いて本研究（研究会）自ら収集し、それ以外は購入および行政等の関係機関から提供を受けた。

4. 分析結果

本研究では、各シーンに対する分析手法を考案した。その結果、表-3に示すとおり、シーン共通の分析項目と、シーン特有の個別分析項目とに大別することができた。個別分析項目は、共通分析の結果や各シーンに特化したデータを組合せて分析する内容を示している。

(1) 共通分析

本節は、表-3の共通分析項目のうち、居住人口および滞留人口の分析例を示す。

a) 居住人口

居住人口は、国勢調査の夜間人口およびつくば市が保有する行政区別人口統計を用いて分析した（図-1）。2010年の国勢調査と行政区別人口とを比較すると、概ね同様の傾向を示していることがわかる。また、2010年と2014年の行政区別人口の差分を見ると、つくばエクスプレスの駅周辺で人口が増加していることがわかる。

b) 滞留人口

滞留人口は、携帯電話基地局情報、携帯電話GPS情報およびパーソナルトリップ調査結果を用いて分析した。携帯電話基地局情報には（株）NTTドコモのモバイル空間

表-2 各種データの収集結果

区分	No.	データ内容 (動線は収集媒体を示す)	データ収集期間	データに含まれる交通モード				
				自動車	電車	バス	自転車	歩行者
動線	1	スマートフォンアプリ	2013年11月, 2014年10月~2015年2月	●	●	●	●	●
	2	車載型カーナビゲーションシステム	2013年, 2014年 (月毎のデータ)	●				
	3	車載型GPSロガー	2013年11月~12月, 2014年12月~2015年1月	● (つくタク)		● (つくバス)		
	4	つくタク配車システム	2014年11月~12月	● (つくタク)				
	5	携帯電話基地局	2013年11月, 2014年11月	●	●	●	●	●
	6	携帯電話GPS	2014年11月	●	●	●	●	●
統計	7	平成22年度 道路交通センサス	2010年 (9月~11月に実施)	●				
	8	平成20年度 東京都市圏パーソナルトリップ調査	2008年 (10月~11月に実施)	●	●	●	●	●
	9	つくば市自転車走行空間調査	2014年9月				●	
	10	公共交通の輸送実績	2013年11月, 2014年11月	● (つくタク)		● (つくバス)		
	11	平成22年度 国勢調査	2010年 (10月に実施)	(主として夜間人口のデータを利用)				
	12	行政区別年齢別人口統計	(月毎に抽出)	(分析のメッシュ・行政区の変換等に利用)				
基盤	13	電子地図	-					
	14	自動車ネットワーク	-	(各種データの分析・可視化に利用)				
	15	歩行者ネットワーク	-					

表-3 各シーンの分析手法

No.	利活用シーン	共通分析項目 分析に必要な主なデータ							個別分析項目
		居住人口 国勢調査 住基台帳	滞留人口 携帯電話 基地局	交通量 センサス (PP調査)	旅行速度 フローブ	トリップ数 PT調査 PP調査	分担率 PT調査 (PP調査)	移動経路 フローブ (PP調査)	
1	つくば市交通政策へのデータ活用	○	○	○	○	○	○	● 共通分析項目との他データとの組合せにより分析を行う項目 【+分析に必要な追加データ】 ○ 共通分析項目を活用・加工し考察を行う項目	
2			○	○		○	○	● バス停別利用者数の可視化【+バス利用実績】 ● バスの利用状況(バスによる移動距離)の可視化【+バス利用実績】 ● 運行改善の検討対象とする路線のサービス状況(ダイヤと走行実績の比較等)の可視化(ダイヤ改正検討路線)【+バスダイヤ等】 ● つくタクの利用状況(時間帯別等)の可視化【+つくタク利用実績】	
3							○	○ 市内全域を対象とした自転車利用トリップを抽出し、自転車利用実態(発生集中量, 移動経路等)を把握	
4	中心市街地再生へのデータ活用		○	○		○		● つくば市都心部(ペDESTリアンデッキ等)の歩行者流動量および発地分布を把握【+PP調査】	
5	コミュニティ道路化推進に向けた基礎調査へのデータ活用			○	○		○	○ 生活道路の交通量および旅行速度を把握し、コミュニティ道路化の対象候補を抽出 ● コミュニティ道路化施策の発現効果の評価【+関連施策情報】	
6	市内一斉エコ通勤の実施に伴う効果検証へのデータ活用			○		○	○	○ エコ通勤ウィーク実施前および実施中の自動車交通量, 手段別分担率の比較 ○ パネル分析(実施前と実施中の手段分担率の比較)	
7	地域防災計画のデータ活用	○	○	○			○	○ 平日時間帯別の流動量(手段別トリップ数等)の把握 ○ つくば市都心部の時間帯別滞留人口および居住地構成(帰宅困難者数)の把握	
8	防犯対策へのデータ活用			○				● つくば市都心部の歩行者流動量を把握【+PP調査】	
9	交通安全の対策へのデータ活用			○	○		○	○ 小学校周辺道路(スクールゾーン)の自動車交通量および通過速度等を把握	
10	シティプロモーションへのデータ活用		○	○		○	○	○ 都心部における自転車・歩行者流動量, 主要幹線道路における自動車交通量を把握 ● 都心部における市域外からの入込人数および利用交通手段を把握【+PP調査】 ● 駅周辺のTX利用者の動きを把握【+PP調査】	
11	観光動態調査へのデータ活用		○					○ 市域外からの筑波山観光入込客数の把握 ● 筑波山観光入込客数の利用交通手段を把握【+PP調査】	
12	CO2排出量の把握に向けたデータ活用			○	○	○	○	○ 自動車交通に起因するCO ₂ 排出量を把握	

※No.は表-1と整合

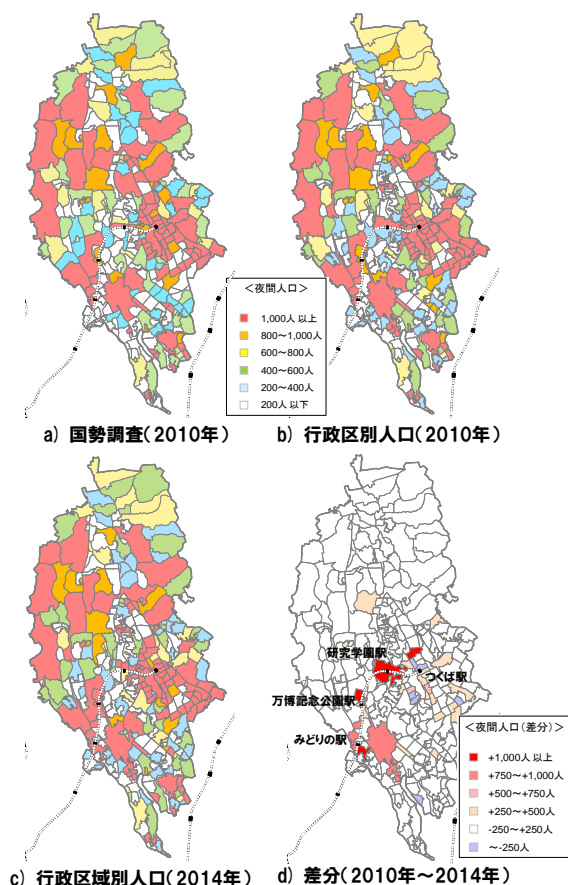


図-1 居住人口

統計⁶⁾、携帯電話GPS情報には(株)ゼンリンデータコムの混雑統計⁷⁾を使用した。

図-2はモバイル空間統計を元にした滞留人口を示しており、図-3はその時間変化である。また、深夜時間帯の滞留人口を既存の統計調査(国勢調査夜間人口)と比較したところ、同様の傾向を示すことが確認できた。図-2から、つくば駅、研究学園駅および筑波大学周辺に人口が集中していることがわかる。図-3からは、滞留人口のピークは平日が13時台、休日が14時台であり、滞留人口のうち市外居住者の割合は10%~40%で推移していることがわかる。

図-4は平日14時台の滞留人口を2013年11月と2014年11月とで比較したものであり、図中の口枠で示すつくば駅南側および筑波大学北側で増加していることがわかる。

図-5は混雑統計を元にした滞留人口を示しており、図-6はその時間変化である。図中のa)混雑度は滞在時間に基づいて人口に案分した滞留量であり、図中のb)流動人口は滞在時間を考慮せずに滞在した全てのメッシュでカウントした滞留量を示している。流動人口は移動が多く発生する通勤時間帯で増加しており、ピークは8時台である。また、学園西大通りと国道354号線の周辺で多いことがわかる。

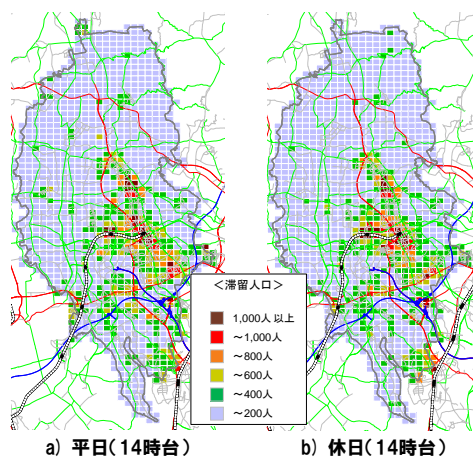


図-2 メッシュ別滞留人口 (モバイル空間統計)

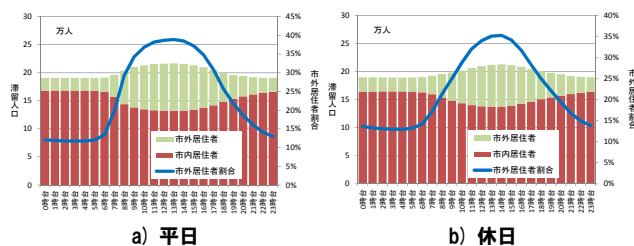
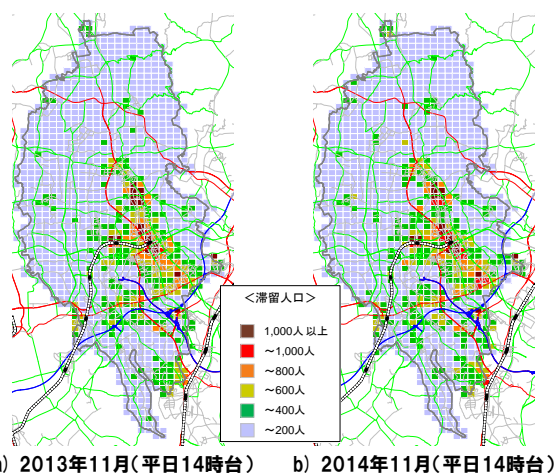
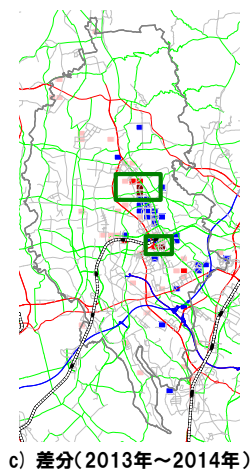


図-3 時間帯別滞留人口 (モバイル空間統計)



a) 2013年11月(平日14時台) b) 2014年11月(平日14時台)



c) 差分(2013年~2014年)

図-4 滞留人口

(モバイル空間統計, 2013年11月と2014年11月の比較)

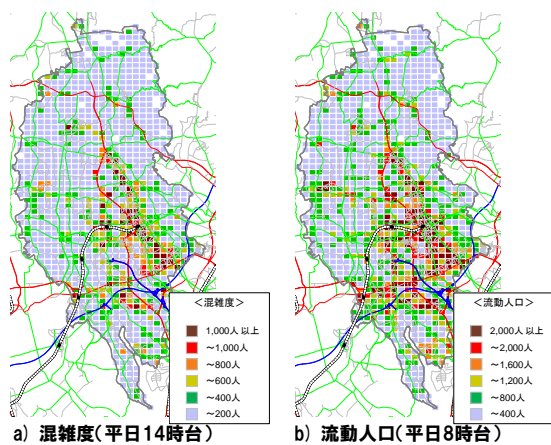


図-5 滞留人口（混雑統計）

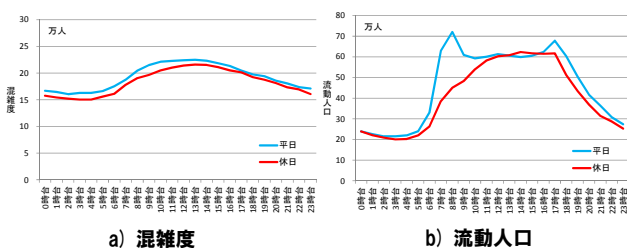


図-6 時間帯別滞留人口（混雑統計）

図-7はパーソントリップ調査，モバイル空間統計および混雑統計を元にした滞留人口密度であり，図-8は時間帯別の滞留人口である。地域別の滞留人口密度は概ね同様の傾向を示しているが，時間帯別の滞留人口は，夜間はパーソントリップ調査とモバイル空間統計が同程度であるが混雑統計は少なく，日中はモバイル空間統計と混雑統計が同程度であるがパーソントリップ調査は少ない。これらの差異は，パーソントリップ調査が調査対象圏域外の居住者を含まないことや，モバイル空間統計や混雑統計の拡大処理の影響等が考えられる。今回の分析結果の比較によって，各データの特性の把握ができた。

(2) 個別分析

本節は，表-3の個別分析項目のうち，交通政策，防災および観光分野へのデータ活用例を示す。

a) 交通政策へのデータ活用

図-9は，つくば市が運行しているコミュニティバス（つくバス）と乗合タクシー（つくタク）の乗降者数をそれぞれ1km，500mのメッシュ化した地図に対応付けて重畳した結果を示している。この図から，それぞれの利用エリアが相補的な関係にある利用実態を把握できる。また，利用の重なるエリアの乗降者の出発・到着地や利用時間帯等を詳細に分析することで，乗換促進候補エリアの抽出等の交通計画への活用が期待できる。

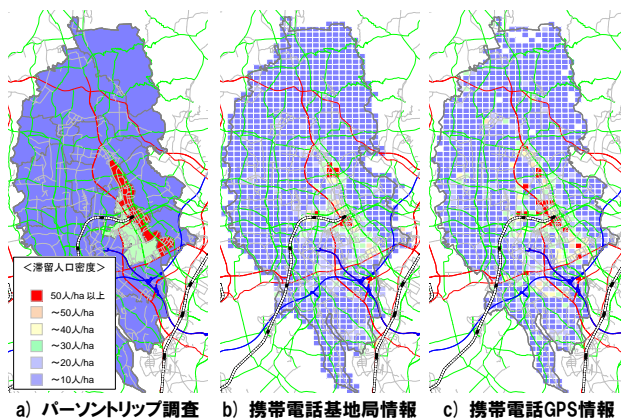


図-7 滞留人口密度の比較

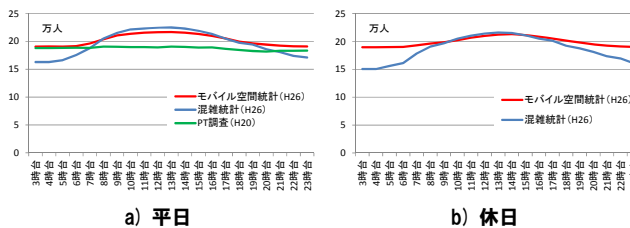


図-8 時間帯別滞留人口の比較

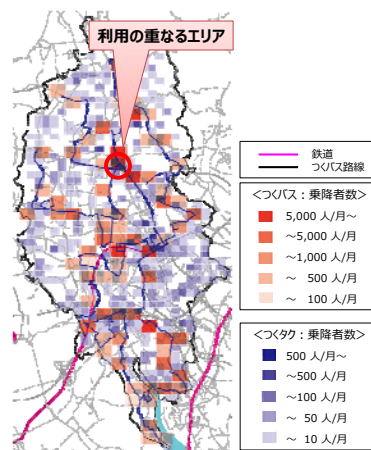


図-9 公共交通利用実態の可視化

つくバスの時刻表，バス停留所の位置情報およびバスプローブデータを組合せて，つくば市が運行ダイヤの改正を検討している路線のひとつである吉沼シャトル（図-10）の平休日を含む一週間分の運行実績を分析した時間距離図を図-11に示す。この図から，「手子生」バス停留所付近から日常的に遅れが発生していることがわかる。一方，運行ダイヤ改正の関係者にヒアリング調査したところ，住民意見や経験則では，「研究学園駅」バス停留所以降で遅れが発生していると認識されており，定量的な分析結果による気づきがあった。このような分析結果を活用することで，住民意見や経験則に加えて，定量的なデータに基づく運行ダイヤの改正や，改正後の効果計測が可能となる。

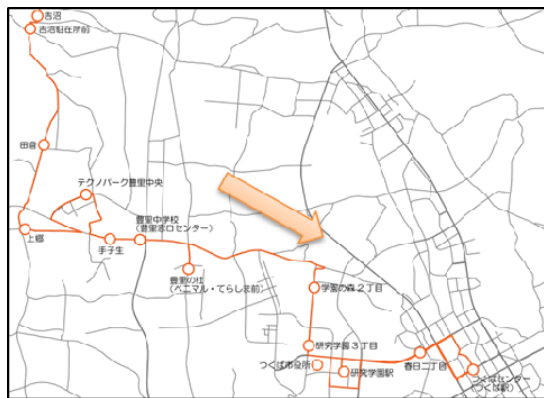


図-10 吉沼シャトル (上り)

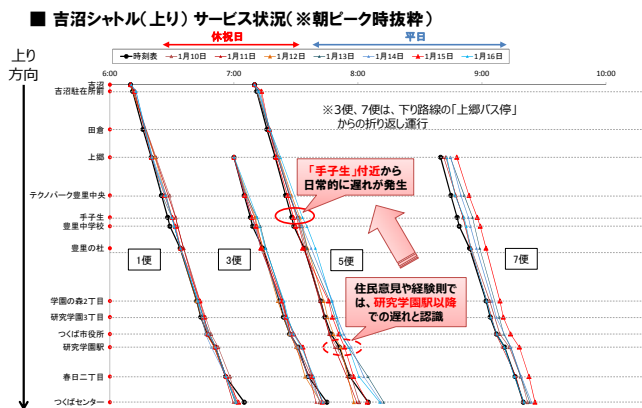


図-11 吉沼シャトルの運行実績 (上り・朝ピーク時)

図-12は、バスプローブデータとつくばエクスプレスの時刻表を組合せて、公共交通の利用による市内の病院（一次・二次・三次医療機関および救急告示医療機関）までの等時間圏域と人口カバー率を示している。市内の病院に30分以内で到着可能な人口カバー率は、つくば市の総人口の72.1%、65歳以上人口の60.2%であることがわかる。

図-13は、図-12と同様のデータを用いて公共交通の利用によるつくば市役所までの等時間圏域を作成し、さらに自動車のプローブデータ（表-2のNo.2）を用いて自動車の利用による等時間圏域を作成し、それぞれを比較した結果を示している。この図から、公共交通と自動車との所要時間の差（比）が小さいエリアは、公共交通利用の促進候補として抽出できる。一方、公共交通と自動車との所要時間の差（比）が大きいエリアは、公共交通体系の見直し候補として抽出できる。

b) 地域防災計画へのデータ活用

図-14はモバイル空間統計を元にした時間帯別の帰宅困難者数であり、図-15は帰宅困難者数の分布を示している。帰宅困難者数は中央防災会議防災対策推進検討会議⁸⁾にて定義されている帰宅困難率に基づき算出した。この結果、平日13時に災害が発生した場合の帰宅困難者数は9,891人となった。

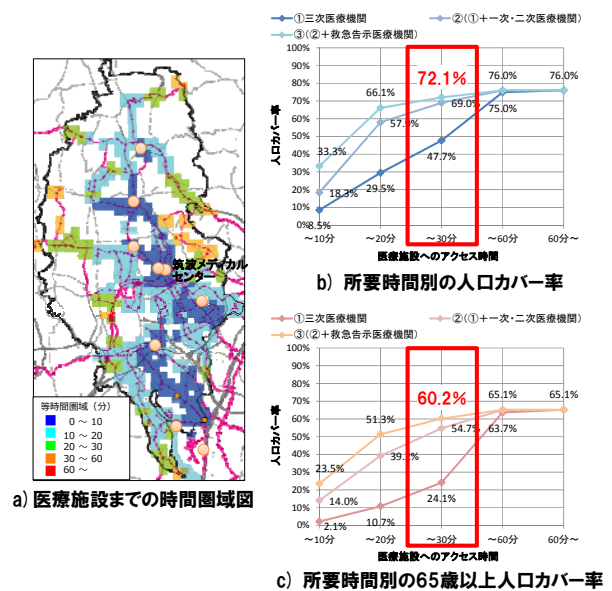


図-12 公共交通による市内病院までの等時間圏域と人口カバー率

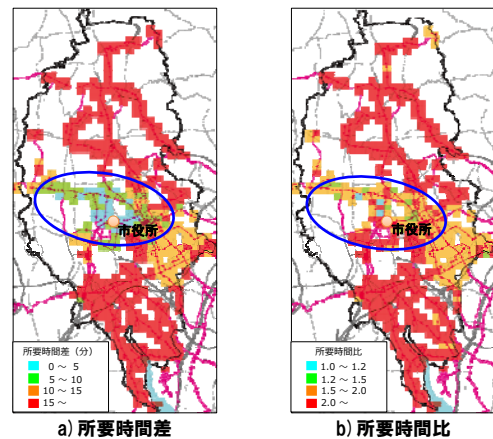


図-13 公共交通利用時と自動車利用時の市役所までの所要時間の比較

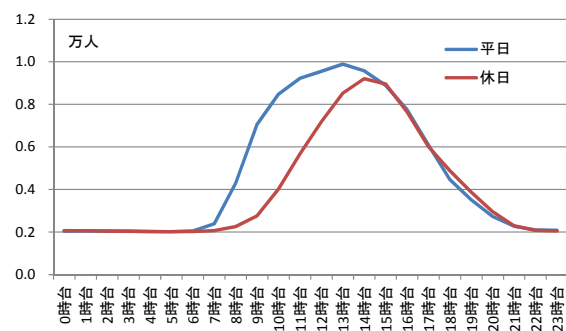


図-14 帰宅困難者数

なお、モバイル空間統計の居住地は携帯電話の契約住所を元としているため、学生や単身赴任者が帰宅困難者数に含まれている可能性のあることに留意が必要である。

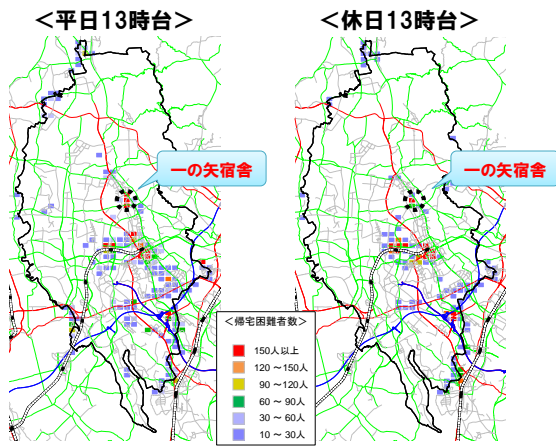


図-15 帰宅困難者数の分布

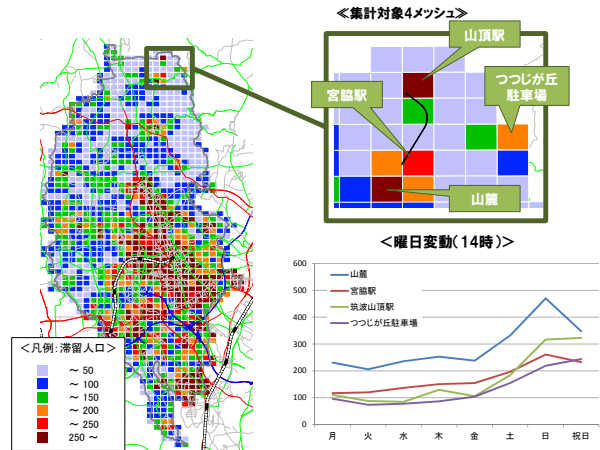


図-16 筑波山の滞留人口 (モバイル空間統計)

c) 観光動態調査へのデータ活用

図-16は、モバイル空間統計を元にした筑波山の滞留人口を示しており、図-17はその時間変化である。図-16から、滞留人口は日曜日が最も多いことがわかる。図-17からは、滞留人口のピークは13時台であり、休日ピーク時(13時台)の滞留人口のうち、約70%が市外居住者であることがわかる。

図-18は、モバイル空間統計および混雑統計を元にした時間帯別の滞留人口と、つくば市が調査している筑波山・観光客動態調査結果とを比較したものである。図中の○印で示すように、人数に大きな差が生じている時間帯がある。その原因は、次の3点が考えられるが、分析結果から特定することは困難であるため、データ特性を考慮し、予め適用シーンに応じて使用するデータを精査したり、調査方法を検討したりする必要がある。

- ・観光客動態調査結果は、地点通過台数に車種別の平均乗車数を乗じて算出しているため、過大推計や過小推計となっている可能性がある。
- ・モバイル空間統計は、15歳から79歳までが対象のため、高齢者や小・中学生の団体(遠足など)を捕捉できていない可能性がある。
- ・モバイル空間統計および混雑統計の拡大処理に用いられている係数が影響している可能性がある。

(3) 分析結果の考察

つくば市の各課が抽出した組合せ分析の適用シーンを分析した結果、統計資料および動線データの組合せ分析は、交通分野に留まらず防災や観光等の施策評価に活用できることが示された。また、継続的にデータを収集・分析することで経年変化を抽出するなど、持続的なモニタリングの重要性も示すことができた。

一方、各データはそれぞれに特性があるため、各施策に活用するには、それぞれのデータ特性を理解した上で、使用するデータや分析手法を検討する必要がある。

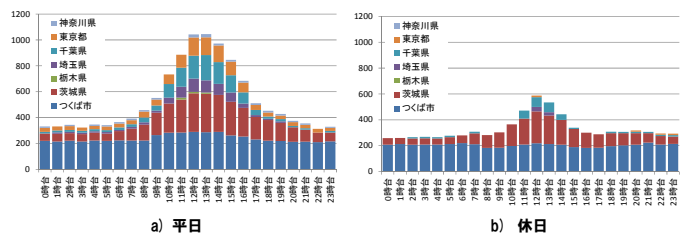


図-17 筑波山の時間帯別滞留人口 (モバイル空間統計)

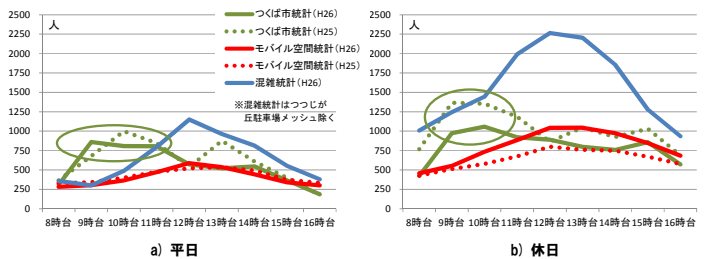


図-18 筑波山観光客数の比較

5. おわりに

本研究では、統計資料および動線データの組合せ分析により、都市活動のモニタリングが可能であり、つくば市政の様々な施策に有効であることを示した。また、各適用シーンの評価に際しては、それぞれのデータ特性を理解した上で、使用するデータや分析手法の検討が必要であることを改めて確認した。

今後は、各シーンでの分析を継続して施策を推進し、さらに、分析結果に基づくCO₂の排出量の算出や持続的な取り組みが可能な運用モデルの構築に取り組む必要がある。そして、これらの成果がつくば市以外の地方公共団体でも適用できるよう鋭意取り組む必要がある。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、つくばモビリティ・交通研究会の参加者および各データ保有事業者にご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) つくば市：つくば市環境モデル都市行動計画，
<<http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/14215/14284/9593/009622.html>>，（入手 2015.4）
- 2) 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
- 3) 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>，（入手 2015.4）
- 4) 今井龍一，田嶋聡司，矢部努，塚田幸広，重高浩一，橋本博良，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
- 5) 山崎恭彦，橋本浩良，高宮進，今井龍一，塚田幸広：スマートフォンアプリを活用した交通行動調査手法に関する基礎的研究～つくば市におけるプローブパーソン調査を通して～，土木計画学研究・講演集，Vol.49，土木学会，2014
- 6) （株）NTT ドコモ：モバイル空間統計に関する情報，
<https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/>，（入手 2015.4）
- 7) （株）ゼンリンデータコム：地図 ASP の法人・商用サービス，
<<http://www.zenrin-datacom.net/business/other/>>，（入手 2015.4）
- 8) 内閣府：防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/>，（入手 2015.4）

(2015. 4. 24受付)

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

Ryuichi IMAI, Satoshi TAJIMA, Tsutomu YABE, Yukihiro TSUKADA,
Koichi SHIGETAKA, Hiroyoshi HASHIMOTO, Ichiro SANNO and Haruo ISHIDA