

論文 モバイル空間統計を用いた都市鉄道の 輸送障害による影響の時空間的把握

金子 雄一郎¹・中川 拓朗²

¹正会員 日本大学教授 理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)
E-mail: kaneko.yuuchirou@nihon-u.ac.jp

²正会員 株式会社建設技術研究所 (元日本大学大学院理工学研究科博士前期課程土木工学専攻)
E-mail: takuro.nakagawa.2714@gmail.com

本研究は携帯電話の位置情報を基にした人口データであるモバイル空間統計を用いて、東京圏における鉄道輸送障害による利用者への影響を時空間的に把握したものである。具体的には2016年1月18日の未明から発生した関東地方の降雪に伴う列車の運休・遅延事象を対象に、地域別の滞在人口が平常時からどの程度変化したかを1時間ごとに測定した。その結果、午前8時台～10時台を中心に、運行本数が大幅に減少した東京圏の西部や北部地域で滞在人口が平常時より大幅に増加した一方、東京都心部では滞在人口が減少したことが明らかになった。このことは列車の到着待ちや駅での入場規制にともなう時間損失によって勤務先に到達できない状況が発生していたことを示唆するものであり、利用者の最適な行動選択に資する情報提供や勤務体制のあり方について検討が必要である。

Key Words : train operation disorder, urban railway, mobile spatial statistics

1. はじめに

わが国ではこれまで三大都市圏を中心に鉄道ネットワークが整備されてきており、通勤や通学、業務、私事等での移動に不可欠な交通手段となっている。それが故にひとたび列車の運休や遅延が発生すると、鉄道利用者には代替経路への迂回や駅等での待機にともなう時間損失、機会逸失などの影響を及ぼす。特に東京圏は鉄道の利用が圏域全体で約30%、東京区部では約48%と高いことから、その影響は大きいといえる。

また最近では、運転再開まで数時間を要するような車両や設備等のトラブル、台風や大雪等の悪天候にともなう大幅な運転本数の削減などの事象（本論文ではこれらを輸送障害と総称する）も発生しており^{注1)}、利用者への影響も拡大している。このような輸送障害の影響を事前に予測することは困難であるが、発生後の影響を最小限に留めるための対策を行うことは重要である。具体的には迅速な実態の把握を行うとともに、列車の運行状況や駅の混雑状況等の情報を逐次提供することで、利用者の行動選択を支援することが求められる。

ここで列車の運転見合わせが発生した場合の影響度については、鉄道事業者によって影響人員が公表されているが、対象は自線内に留まることが一般的である。こ

れに対して例えば悪天候の場合、影響が広範囲かつ長時間に及ぶことも多いが、このような時空間的な状況は必ずしも把握されていない。

また、鉄道の運転見合わせによる影響を分析した研究はこれまで複数存在しており、例えば高田ら²⁾、武藤³⁾は、運転見合わせ時における迂回行動を分析し、金子ら⁴⁾は、鉄道の日常的な遅延を踏まえた出発時刻の選択行動を分析しているが、輸送障害による影響の時空間的な把握は著者の知る限り行われていない。

一方、近年のICTの進展にともない、交通分野においてもビッグデータの活用環境が整備されつつある。このうち携帯電話の位置情報を基にしたNTTドコモのモバイル空間統計は、任意の期間や時間帯、地域の滞在人口を把握できることから、災害時の広域的な人の滞在や移動の可視化の手段として有用性が高く、交通対策の検討に活用できることが示されている（例えば金子ら⁵⁾、佐々木ら⁶⁾など）。

そこで本研究では、このモバイル空間統計を用いて、悪天候の事例の一つとして、2016年1月18日の未明から発生した関東地方における降雪に伴う列車の運休・遅延事象を対象に、市区町村単位及び1 kmメッシュ単位での滞在人口を1時間ごとに測定することで、利用者への影響を時空間的に把握することを目的とする。

2. 分析に使用するデータの概要

(1) モバイル空間統計の特徴

モバイル空間統計は、NTTドコモの携帯電話ネットワークの仕組みを使用して作成される人口の統計情報である。具体的には携帯電話の運用データを基に、都道府県別・年齢層別の携帯電話契約率を考慮して実際に存在した人口（本研究では滞在人口と呼称）を推計するものであり、全国の1時間ごとの人口分布を24時間365日把握可能である。ここで1時間単位とは、例えば12時台の場合は12:00～12:59の間に滞在した人数となるが、あるサンプルが12時台に移動して2つのエリアで位置登録をした場合、各々のエリアで1/2人という数量になり、この数量に拡大係数が付与される。

提供される人口データの最小単位は500 mメッシュであり、当該メッシュ内の人口の性別、年齢層、居住地の情報が付与される。このうち居住地については、最小で大字単位で把握できる。一方、移動の際の利用交通機関や周遊行動（トリップチェーン）は把握できない。従って、本研究で用いる滞在人口についても、鉄道利用者のみを抽出したものでない点に注意が必要である。

(2) データの使用範囲

本研究におけるデータの使用範囲について、降雪日である2016年1月18日と、平常時として前週の1月12日（1月11日が祝日のため翌12日とした）と後週の1月25日の計3日分の滞在人口を用い、降雪日と平常時の同一時間帯における滞在人口の差分を算出することで、運休・遅延による影響を把握する。時間帯は3時台から23時台までの21時間帯であり、滞在人口の単位は「市区町村」及び「駅を含む1 kmメッシュ」とする。なお、平常時について1月12日と1月25日の値を比較したところ、両者の比率の平均が1.00とほぼ同水準であったことから、後述の分析では1月25日を平常時とする。

3. 2016年1月18日の降雪の概況と列車の運行状況

(1) 降雪の状況

気象庁の発表によると、本州の南岸を通過した低気圧の影響により、関東地方南部では2016年1月18日未明から昼前にかけて雪が降り、大雪となった所があった。この降雪の影響により、鉄道の運休・遅延や航空機の欠航、高速道路の通行止めなど交通障害が発生した。

このうち鉄道については、運転休止やダイヤの大幅な乱れがあり、通勤・通学時の利用者にも多大な影響が発生したことから、国土交通省が1月22日に「首都圏における降雪時の鉄道旅客輸送に関する連絡会議」を開催し、

降雪時（特に大雪時）の各鉄道事業者の対応状況を共有するとともに、利用者への情報提供のあり方について意見交換を行っている。

(2) 列車の運行状況

1月18日の東京圏のJR・大手民鉄等の運行状況については、上記の連絡会議の配付資料に整理されており、これを表-1に示す。これより運行本数が平常時の半数以下の線区は、JR東日本の青梅線、八高線、川越線（川越～高麗川）が5割未満、東武東上線・越生線が4割程度、京王電鉄京王線が3割程度、東急池上線・多摩川線が4割程度となっている。

また、その他の線区では、西武鉄道が7割程度、小田急電鉄が6割程度、東急田園都市線・大井町線が6割程度と、東京圏の西部及び北部地域を中心に運行本数が減少していることがわかる。なお、運行本数の減少などに起因して、多くの線区で大幅な遅延が発生したことが報告されている。

表-1 2016年1月18日（降雪時）の主な線区別運行状況

事業者名	線区名	運行本数
JR東日本	山手線、東海道線、総武快速横須賀線、常磐線（快速線、緩行線）、京葉線、南武線	概ね通常レベル
	京浜東北根岸線、中央快速線、中央総武各駅停車、埼京線、宇都宮線、高崎線、武蔵野線、横浜線、五日市線、川越線（大宮～川越）、相模線	5割以上
	青梅線、八高線、川越線（川越～高麗川）	5割未満
東武鉄道	伊勢崎線、野田線、鬼怒川線	7割程度
	東上本線、越生線	4割程度
西武鉄道		7割程度
京成電鉄		9割程度
京王電鉄	京王線	3割程度
	井の頭線	6割程度
小田急電鉄		6割程度
東急電鉄	目黒線・世田谷線	10割程度
	東横線	8割程度
	田園都市線・大井町線	6割程度
	池上線・多摩川線	4割程度
京急電鉄		7～8割

出典：国土交通省：「首都圏における降雪時の鉄道旅客輸送に関する連絡会議」資料より作成。

4. 運休・遅延による鉄道利用者への影響分析

(1) 分析方法

上述したような朝の時間帯における列車の運行本数の減少やそれに伴う遅延の発生は、通勤・通学行動へ大きな影響を及ぼしたものと想定される。具体的には、最寄駅や乗換駅における待ち時間の増大、改札への入場規制等に伴う駅付近での人の滞留、駅周辺の施設や自宅等での待機などが発生したことが、当時の新聞やニュース等で報道されている。しかし、これらの情報は地域を限定したものが大半であり、東京圏全域の状況を把握できるものではない。

そこで本研究では、2章で述べた携帯電話の位置情報

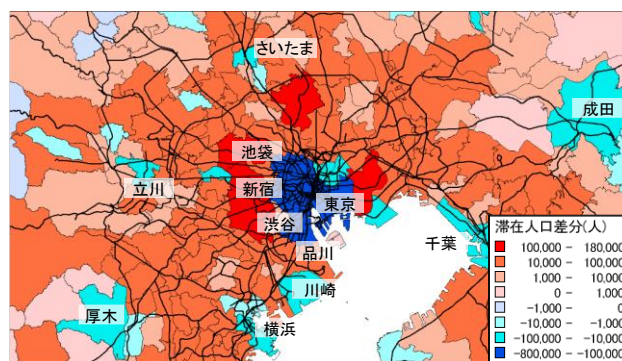
を活用した人口統計であるモバイル空間統計を用いて、市区町村単位及び駅を含む 1 km メッシュ単位での滞在人口を 1 時間ごとに把握し、平常時の人口と比較することで、駅及び周辺での滞留や自宅等での待機状況、勤務先への出勤状況などを把握する。

(2) 市区町村別の滞在人口の変化

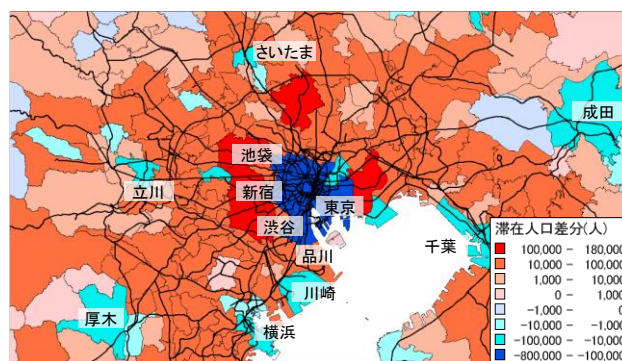
分析の前段として、東京圏における人口の分布特性を把握するため、平常時における昼夜間での滞在人口の変化を算定する。図-1 は、夜間時（3 時台）の滞在人口と日中（10 時台及び 13 時台）の滞在人口の差分を求めたものである。図中の青色の地域は夜間より日中の滞在人口が多い地域であり、東京都心部や業務核都市（立川、横浜、さいたま、千葉等）などの従業地である。一方、赤色の地域は日中より夜間の滞在人口が多い地域であり、主に住居地域である。

図-2 は、降雪時（1 月 18 日）と平常時（1 月 25 日）の市区町村別の滞在人口の差分を 1 時間ごとに算出したものである。これより東京の西部地域（東京多摩部、神奈川県、埼玉県）や北部地域（埼玉県）を中心に平常時より滞在人口が大幅に増加していること、一方で東部地域（主に千葉県）はほとんど増加がみられず、従業地である東京都心部は減少していることわかる。

また、図-3 は、平常時と降雪時の滞在人口を比較したものである。これより 8 時台から 10 時台にかけて、



(a) 3 時台と 10 時台の差分



(b) 3 時台と 13 時台の差分

図-1 平常時における昼夜間での滞在人口の変化
(2016 年 1 月 25 日)

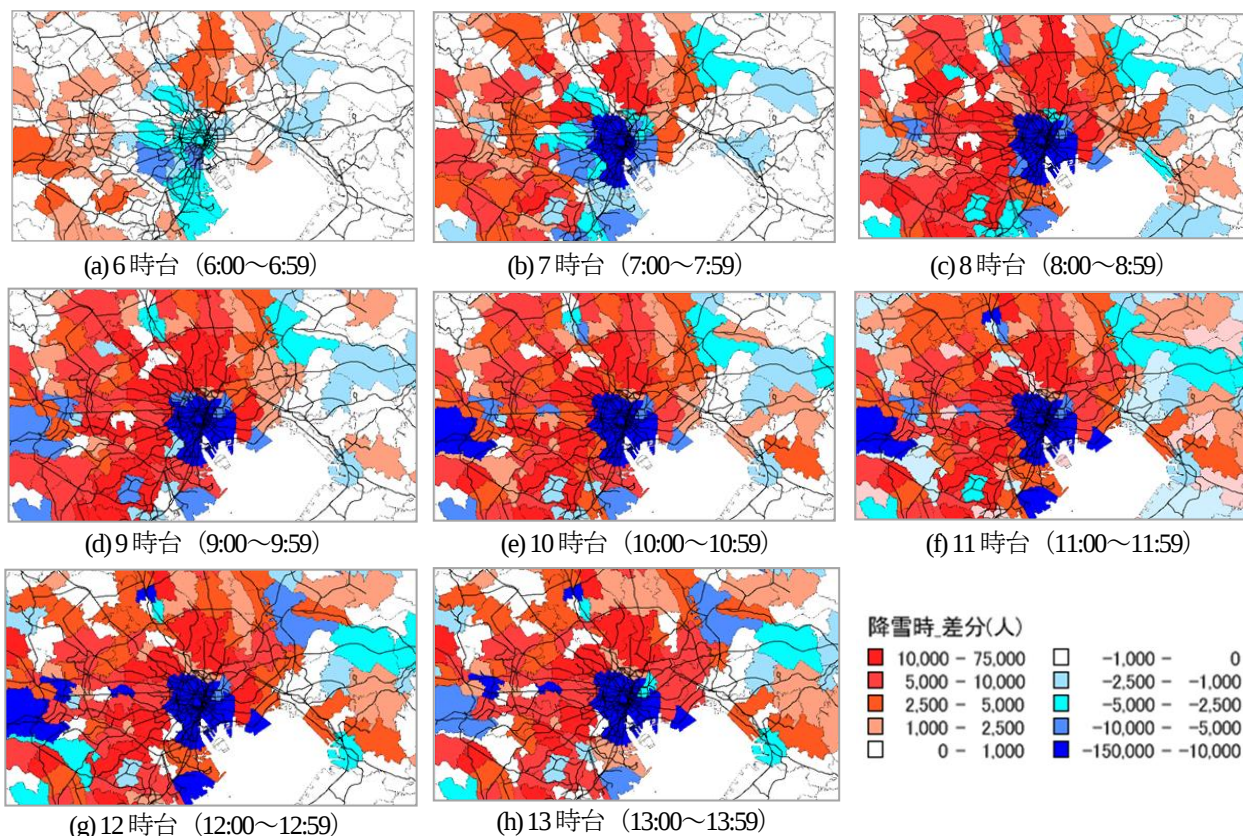


図-2 降雪時と平常時の滞在人口の差分（6 時台～13 時台・市区町村別）

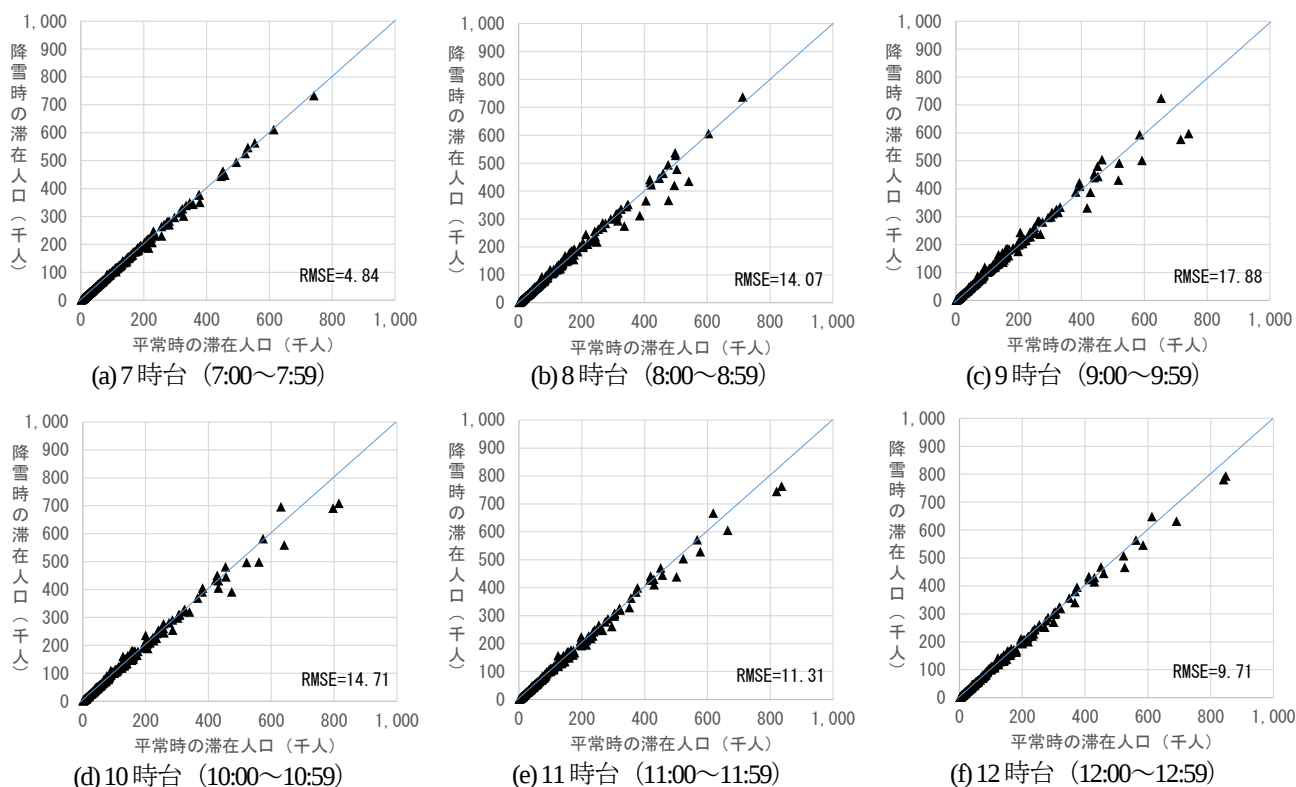


図-3 降雪時と平常時の滞在人口の関係（7時台～12時台・市区町村別）

両者の間で乖離が大きくなっている傾向が読み取れる。具体的に RMSE（Root Mean Square Error：平方根平均二乗誤差）を算出すると、9 時台が 17.88 と最も高く、次いで 10 時台の 14.71、8 時台が 14.07 となっており、特に平常時の滞在人口規模が 40 万人以上の市区で乖離が大きくなっていることがわかる。これに該当する地域は東京都区部であり、このうち都心 6 区（千代田区・中央区・港区・新宿区・品川区・渋谷区）は主に従業地であるため、降雪時の滞在人口は平常時より少なく、一方、その他の区（世田谷区・練馬区・足立区・江戸川区）は主に住宅地であるため、降雪時の滞在人口は平常時より多くなっているものと推察される。

以上の結果より、地域別に滞在人口の増減が発生していることが明らかとなったが、これを端的に示したのが図-4 である。これより東京都区部では降雪時の滞在人口が平常時から大きく減少（図では負値）しているのに対して、その他の地域はいずれも滞在人口が増加（図では正値）していることがわかる。この傾向は 9 時台をピークとして徐々に縮小しているものの、12 時台でも一定の増減がみられる。東京都区部は事業所が集積している地域であり、列車の運休・遅延によって勤務先へ到達できない人が多く発生したことが推察される。

(3) 個別の地域における状況

(2) で示した全域的な傾向を踏まえ、特徴的な地域の

状況をみていく。図-5は、東京都千代田区の滞在人口の推移を示したものである。時間の経過とともに滞在人口が増加しているものの、降雪時は平常時と比較して常に下回っていることがわかる。このような傾向は、隣接する中央区や港区（いわゆる都心3区）でも同様であった。

一方、図-6は、運行本数が平常時の3割程度であった京王線沿線にある調布市の滞在人口の推移を示したものである。降雪時の滞在人口が10時台までほぼ一定で推移しており、駅周辺に滞留もしくは自宅等待機していたことが推察される。

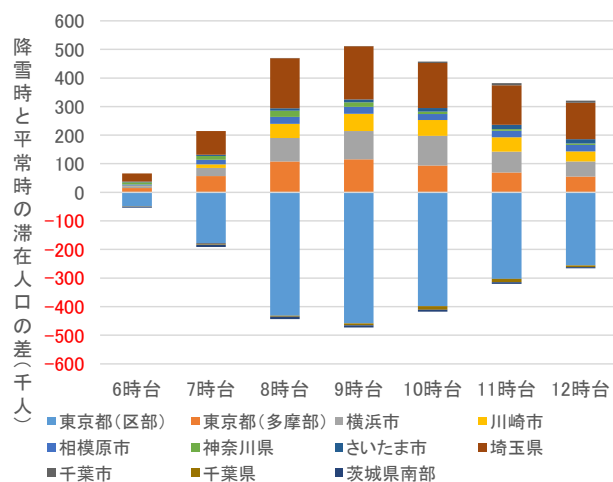


図-4 地域別の降雪時と平常時の滞在人口の差分

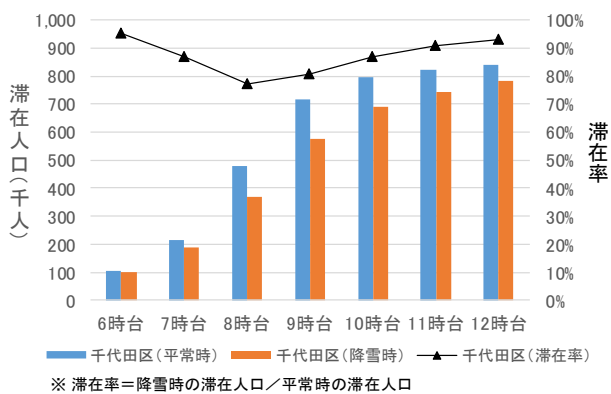


図-5 降雪時と平常時の滞在人口の推移 (千代田区)

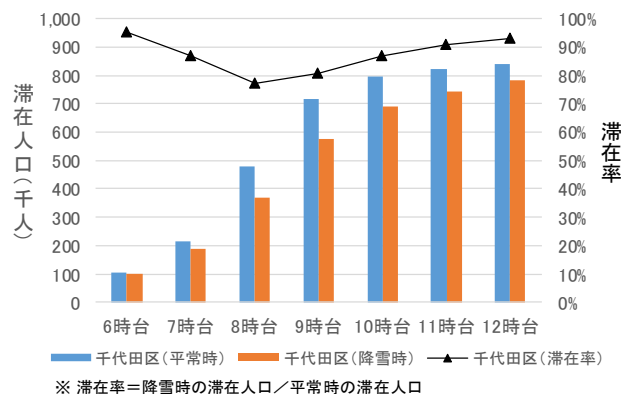
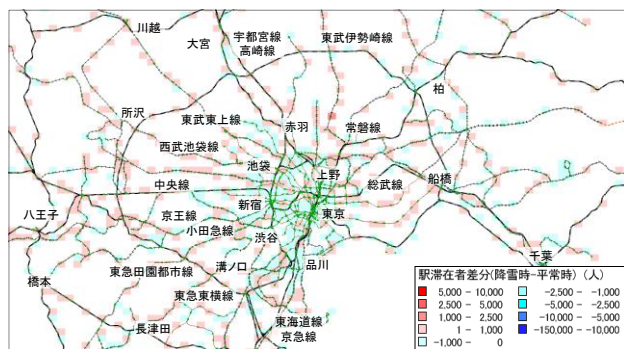


図-6 降雪時と平常時の滞在人口の推移 (調布市)

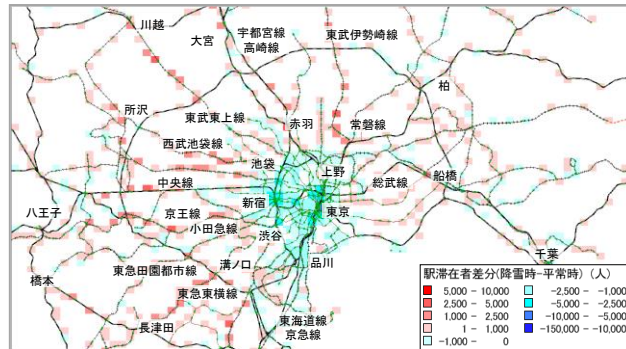
(4) 駅を含む1 kmメッシュ内の滞在人口の変化

図-7 は、降雪時と平常時の駅を含む 1 km メッシュ内の滞在人口の差分を1時間ごとに算出したものである。

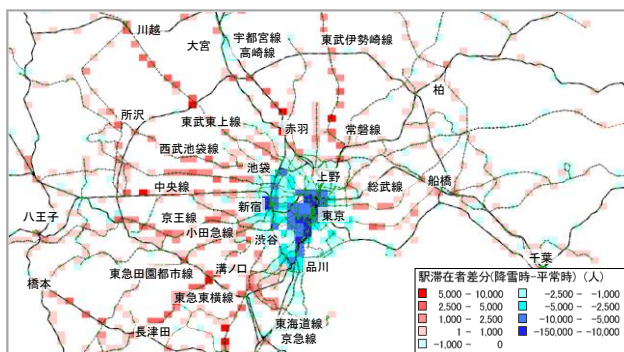
これより(2)の市区町村単位の結果と同様に、東京圏の西部地域及び北部地域では平常時より滞在人口が増加したメッシュが多いのに対して、東京都心部では大半の



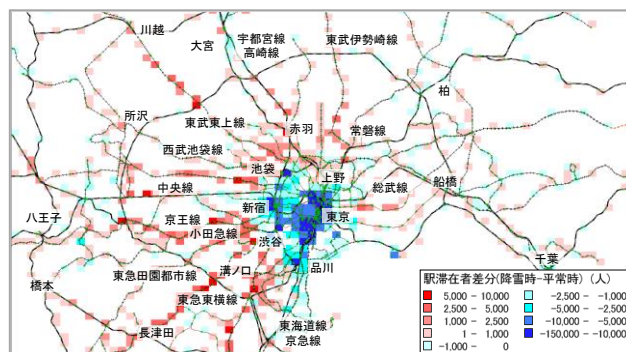
(a) 6時台 (6:00~6:59)



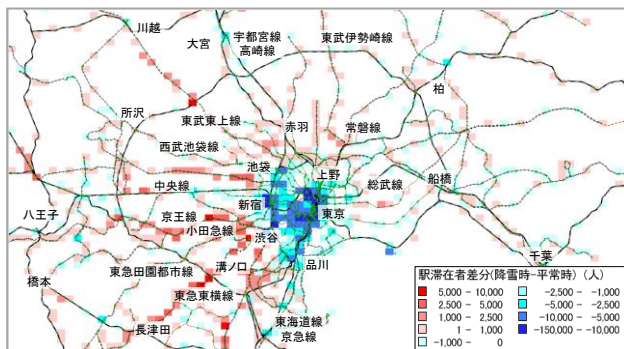
(b) 7時台 (7:00~7:59)



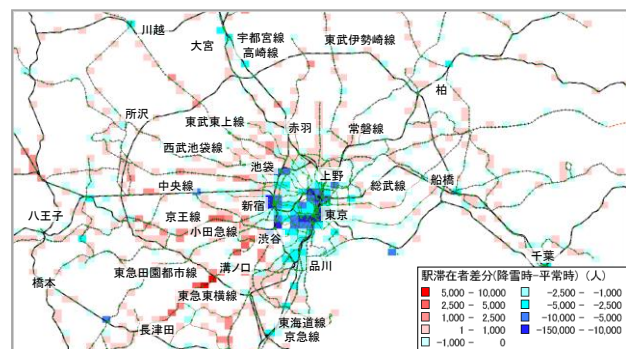
(c) 8時台 (8:00~8:59)



(d) 9時台 (9:00~9:59)



(e) 10時台 (10:00~10:59)



(f) 11時台 (11:00~11:59)

図-7 降雪時と平常時の滞在人口の差分 (6時台~11時台・駅を含む1 km メッシュ)

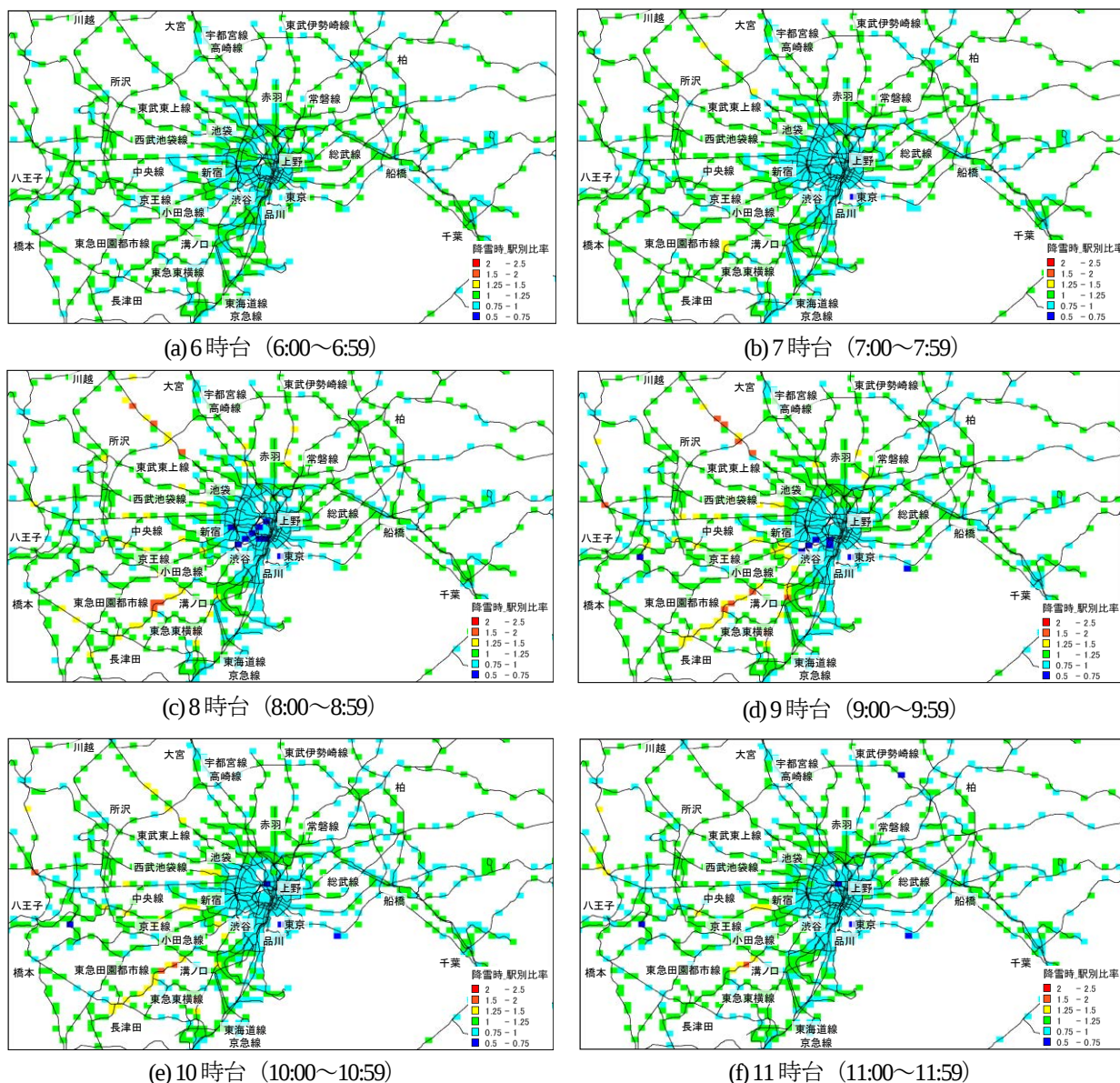


図-8 降雪時と平常時の滞在人口の比率 (6 時台～11 時台・駅を含む 1km メッシュ)

メッシュで減少していることがわかる。

時間帯別では 6 時台は平常時との差は小さいものの、7 時台から 9 時台にかけて差が拡大しており、運休・遅延にともない駅付近に滞留している状況が推察される。また、当日の線区別の運行状況 (表-1 参照) との関係を見ると、JR 東日本では、運行本数が 5 割以上であった線区のうち、宇都宮線・高崎線・京浜東北線の赤羽以北の駅での滞在人口が増加している。

一方、大手民鉄では、運行本数が 3 割程度の京王電鉄京王線、4 割程度の東武東上線、6 割程度の小田急小田原線及び東急田園都市線の多くの駅で滞在人口が大幅に増加しているほか、7 割程度の東武伊勢崎線、8 割程度であった東急東横線でも複数の駅で増加していることがわかる。このうち後者の要因としては、大幅な遅延が発

生じたこと、一部の駅で入場規制が行われたことなどが挙げられる。

また、図-8 は、降雪時と平常時の駅を含む 1 km メッシュ内の滞在人口の比率を 1 時間ごとに算出したものである。数値が 1 より大きい場合、降雪時の滞在人口が平常時より多いことを表している。これより、午前 8 時台～10 時台を中心に東京圏の西部地域及び北部地域で「1.25～1.5」のメッシュが多く見られ、東武東上線や東急田園都市線の一部の駅 (朝霞、みずほ台、鷺沼、あざみ野等) では「1.5～2」に達していることがわかる。このことは、平常時の駅 (コンコース・ホーム等) の容量を大幅に超過していることを示唆するものである。

一方、図-9 は、降雪時と平常時の駅を含む 1 km メッシュ内の滞在人口 (9 時台) の差分が 5,000 人以上の駅

を示したものである。これらの多くは上述した線区にある駅であり、運休・遅延にともない駅構内や駅付近に鉄道利用者が滞留している状況が推察される。また、12駅中7駅が他線との乗り換え駅であり、利用者が集中しやすい傾向がうかがえる。

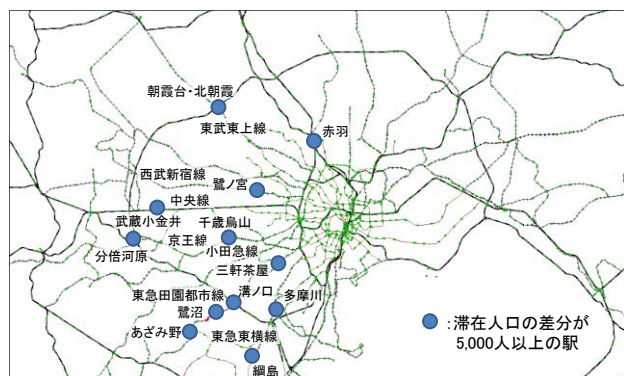


図-9 滞在人口の差分が5,000人以上の駅

5. おわりに

本研究では、携帯電話の位置情報を基にした人口データであるモバイル空間統計を用いて、東京圏における鉄道輸送障害による利用者への影響を時空間的に把握した。具体的には2016年1月18日の未明から発生した関東地方の降雪に伴う列車の運休・遅延事象を対象に、地域別滞在人口の平常時からの増減を1時間ごとに測定した。その結果、午前8時台～10時台を中心に、列車の運行本数が大幅に減少した東京圏の西部や北部地域の市区町村や駅を含む1kmメッシュにおいて平常時より滞在人口が大幅に増加した一方、東京都心部で滞在人口が減少したことが明らかになった。

このことは、列車の到着待ちや駅での入場規制にともなう時間損失によって、勤務先に到達できない状況が発生していたことを示唆するものである。運行本数の減少自体は安全面を考慮した措置と考えられるが、利用者の最適な行動選択に資するような情報提供については検討

の必要があると考えられる。具体的には、既に一部の鉄道事業者で実施されているように、アプリ等により列車の運行状況や駅の混雑状況を逐次提供することで、自宅での待機や他の交通手段や経路で移動するなど利用者の最適な行動選択を支援することが求められる。また、悪天候時には出勤を控えることを含めた企業における勤務体制等の見直しについても、検討が必要である。

最後に今後の課題として、滞在人口データを居住地別に集計して自地域内の滞在者数の割合を算出すること、東京都区部等の従業地における到着状況を地域別に比較・考察することなどが挙げられる。

付記：本研究は科学研究費助成事業基盤研究C（課題番号15K06258）の支援を受けて実施したものである。

注

- 1) 最近の大規模な輸送障害としては、JR京浜東北線・架線切断（2015年8月4日）、JR高崎線・設備トラブル（2016年3月15日）籠原駅、2016年11月4日北上尾駅、東武東上線・脱線（2016年5月18日、板橋駅～大山駅）、京浜急行線・架線切断（2017年5月12日、生麦駅）などが挙げられる。

参考文献

- 1) 東京都市圏交通計画協議会：パーソントリップ調査からみた東京都市圏の都市交通に関する課題と対応の方向性，2012.
- 2) 高田和幸・小林蘭美：鉄道輸送障害発生時の乗客の選択行動に関する分析，土木計画学研究・論文集，Vol.25，pp.783-768，2008.
- 3) 武藤雅威：運転再開時における旅客数の予測手開発，鉄道総研報告，22(6)，pp.17-22，2008.
- 4) 金子雄一郎・曾山禎彦・加藤浩徳：都市鉄道の遅延に関する利用者の認知状況と交通行動への影響－東京圏を対象として－，運輸政策研究，Vol.14 No.2，pp.26-33，2011.
- 5) 金子辰也・神戸大輝・浅田拓海・有村幹治：交通ビッグデータを用いた平成28年台風10号道路ネットワーク被害に関する基礎的分析，土木計画学研究・講演集，Vol.55，2017.
- 6) 佐々木邦明・秦康範：2014年関東大雪時の山梨県内の状況とその後の復旧における課題，土木計画学研究・講演集，Vol.55，2017.

(2018.4.6 受付)

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF TRAIN OPERATION DISORDER USING MOBILE SPACE STATISTICS

Yuichiro KANEKO and Takuro NAKAGAWA

The aim of this study is to grasp the influence on train operation disorder to users by time and space using to use the mobile space statistics. Changes in the number of population by area from ordinary times were measured hourly for train delay events associated with the snowfall of the Kanto region that occurred in the early days of January 18, 2016. As a result, it was shown that the population of residents increased in the western and northern areas of the Tokyo metropolitan area where the number of trains operated significantly decreased from 8:00 to 10:00, and that the number of residents in the central area decreased.