渋谷駅山手線線路切換工事時における多様な観測データを用いた行動変容の実態分析

鈴木　健史[1]・齋藤　功次[2]・山﨑　淳[3]・本田　聖一朗[4]・
羽藤　英二[5]・石井　良治[6]・松永　隆宏[7]

[1]東日本旅客鉄道株式会社　東京建設プロジェクトマネジメントオフィス 企画戦略ユニット
（〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-5-8 JR 目黒 MARC ビル 5F）
E-mail: suzukitakeshi@jreast.co.jp (Corresponding Author)

[2]東日本旅客鉄道株式会社　東京建設プロジェクトマネジメントオフィス　企画戦略ユニット
（〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-5-8 JR 目黒 MARC ビル 5F）
E-mail: kouji-saito@jreast.co.jp

[3]JR 東日本コンサルタンツ㈱　企画総務本部　未来社会・DX 推進室
（〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号大崎ガーデンタワー14 階）
E-mail: j-yamazaki@jrc.jregroup.ne.jp

[4]JR 東日本コンサルタンツ㈱　企画総務本部　未来社会・DX 推進室
（〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号大崎ガーデンタワー14 階）
E-mail: s-honda@jrc.jregroup.ne.jp

[5]東京大学大学院　工学系研究科　社会基盤学専攻
（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

[6]東京大学大学院　工学系研究科　社会基盤学専攻
（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: rishii-bin@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

[7]東京大学　工学部　社会基盤学科
（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: matsunaga@bin.t.u-tokyo.ac.jp

新型コロナウイルスの影響により鉄道利用は大きく変化したものの，大都市圏におけるターミナル駅の混雑は依然課題であり，また交流促進等の観点からも，改良工事等を継続的に行い乗換等のサービスレベルを向上させていくことが重要である．一方で，駅改良工事期間は仮囲い等の設置により構内の混雑が一時的に悪化する可能性があり，また線路切換等により一時運休することで広範囲に影響が波及する可能性がある．それらの影響を緩和するための工法や代替路線の増発等を検討するため，工事期間中における広域及び狭域（駅構内）の利用者の流動を予測することのニーズは高い．

本検討では，マルチスケールな利用者の流動の予測手法を構築するための基礎的な知見を得ることを狙いとして，工事前後の人の流動の計測結果を用いて行動変容の実態分析を行う．具体的には，2023 年 1 月 7 日～8 日に行われた渋谷駅山手線線路切換工事に関して，工事期間前・期間中・期間後の 3 時点で，改札機，カメラ，BLE，プローブパーソン調査などの多様な観測データを基に，広域及び駅構内で発生していた行動変容を明らかにする．

Key Words: *Station improvement, Camera image, BLE, Probe person survey, Multi-scale simulation*

1. はじめに

新型コロナウイルスの影響により鉄道利用は大きく変化したものの，大都市圏におけるターミナル駅の混雑は依然課題であり，また交流促進等の観点からも，改良工事等を継続的に行い乗換等のサービスレベルを向上させていくことが重要である．一方で，改良工事期間は構内の混雑が一時的に悪化する可能性があり，また線路切換

等により一時運休することで広範囲に影響が波及する可能性がある．それらの影響を緩和するための工法や代替路線の増発等を検討するため，工事期間中における広域及び狭域（駅構内）の利用者の流動を予測することのニーズは高い．

一方で，現行収集可能なデータでは，駅構内や広域の利用者の流動を完全にカバーするのは難しいという問題がある．例えば改札機のデータは，日々の時間別の乗降を取得可能な情報であるものの，駅構内の具体的な移動や駅外への移動に関しての情報は得られない．カメラによる画像認識を活用した歩行者数の把握も試みられているが [1),2)]，限定された設置地点の情報しか提供できないのが現状である．一方で，Wi-Fi や Bluetooth センサを利用することで利用者の移動経路の把握することが可能ではあるが [3),4)]，スマートフォンの Wi-Fi や Bluetooth 等を利用している機器の動きの把握に限られ，断面交通量等を正確に把握することはできない．広域の流動に関しては，パーソントリップ調査や大都市交通センサス等のデータが存在するが，これらは 10 年に 1 度等の取得間隔の長い統計データであり，短期間の変動を捉えることは困難である．近年は，携帯電話基地局データ等のビッグデータによる OD や滞留人口の分析も進んでいるが，属性情報や交通手段の分析は限定的であり一定の制約がある．また，プローブパーソン調査は GPS で利用者の移動経路を把握する手法であり，アンケートを併用することで属性情報等も詳細に捉えることが可能であるが，限定的なサンプル数となり全体像の再現は難しい．このように，利用者の流動を捉えるデータは多様にあるが，マクロかミクロか，総量を捉えられるか，属性を捉えられるか，利用者の移動経路を把握できるか等の観点から特性には長短があり，広域から駅構内に至るまでの全体的な利用者の流動を一貫して捉える手法は，現時点では確立されていないと言える．

前述した課題を解決するため，本検討を含む一連の研究では，マクロスケールとミクロスケールの動きを統合するマルチスケールシミュレーションを開発することを目指す．このシミュレーションは，各種既存データを活用して広域及び狭域（駅構内等）の利用者の流動を疑似的に再現するとともに，工事等の影響下での利用者の流動を予測するためのツールとしての役割も果たす．さらに，予測データをもとに最適なポイントインセンティブの提供等の対策への活用も念頭においたシミュレーションとして開発を行う．

本検討では，マルチスケールな利用者の流動の予測手法を構築するための基礎的な知見を得ることを狙いとして，工事前後の利用者の流動の計測結果を用いて行動変容の実態分析を行う．具体的には，2023 年 1 月 7 日～8 日に行われた渋谷駅山手線線路切換工事に関して，切換前・切換中・切換後の 3 時点で，改札機，カメラ，BLE，プローブパーソン調査などの多様な観測データを基に，広域及び駅構内で発生していた行動変容を明らかにする．

2. シミュレーションの概要と必要なデータ

(1) マルチスケールシミュレーションの概要

本検討を含む一連の研究の目的は，駅構内や広域での利用者の流動の正確な把握及び予測，さらには予測に基づいた制御を可能にすることであり，特に工事期間中や工事期間後の利用者の流動の変化を把握し，対策検討を可能とするためのシミュレーションの開発を目指す．そのため，マクロスケールとミクロスケールの二段階からなるシミュレーションモデルの構築を行う．

マクロスケールにおいては，アクティビティベースドモデルを採用し，Recursive Logit 等のモデル [5),6)]により，利用者の 1 日を通じた活動を詳細に推計するアプローチをとる．属性や時間的制約等の利用者の置かれている状況に応じて，工事による一部区間の運休やポイント付与等による移動経路，移動先，移動時間帯等の行動変容が異なる点を適切に考慮することが重要であり，これがアクティビティベースドモデルを採用する狙いの 1 つである．また，マクロスケールにおいては，トリップ単位での予測だけでなく，鉄道の利用経路や乗換駅の推計を行うための鉄道経路選択モデルも組み込むことが考えられる．

一方，ミクロスケールのモデルでは，駅構内や駅周辺での利用者の移動経路，滞在場所，行動パターンを Recursive Logit 等のモデル [7)]により推計する．狭域においても，利用者の行動はその背後にある目的や属性等によって大きく異なり，例えば通勤で駅を利用する利用者は効率的な乗換や出口への移動を重視する傾向があると予想されるが，観光等で駅を訪れる利用者は情報探索等のうろつき行動を取ることが考えられる．このような目的や属性に基づいた動きをモデリングすることで，駅構内や駅周辺での混雑、滞留場所、通行経路の予測がより精緻に行えるようになると期待される．

これらのマクロとミクロのスケールのモデルは、相互に情報を共有し、連携して動作させるように構築する．具体的には、マクロスケールで算出されるトリップ数や乗降客数データをミクロスケールモデルの入力として供給し、逆にミクロスケールで得られる情報、例えば鉄道駅端末の徒歩移動時間、乗換の所要時間や混雑状況といった変数をマクロスケールモデルの入力データとして反映させる．この双方向の情報連携により、マクロとミクロの間で相互に影響を与え合うシミュレーションの構築を目指す．

このシミュレーションの応用範囲は広い．例えば、工事に伴う特定の区間運休が広域的な流動に与える影響や、その結果として特定の駅やリンクに生じる可能性のある負荷を事前に詳細に予測することが可能となる．また，駅構内の通路等のネットワーク改良により，徒歩時間や乗換時間が変わることによる利用鉄道経路への影響も評価することができるようになる．さらには，工事実施中における仮囲いや通路の最適配置、また混雑が予測される箇所を事前に特定し、その回避を促すポイントインセンティブの最適化など、より具体的な対策の検討にもこのシミュレーション技術を応用することが考えられる．

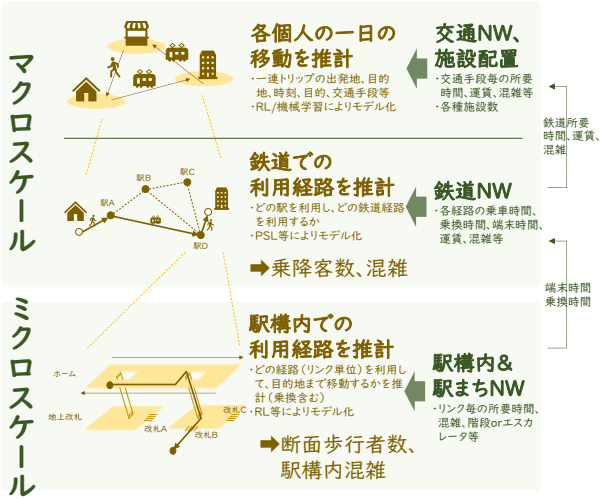


図-1　マルチスケールシミュレーションの概要

(2)　必要となるデータの全体像

利用者の移動を包括的に把握し予測するマルチスケールシミュレーションの構築には，多様なデータの活用が不可欠である．予測の精度向上のためには、個々の利用者の動きを詳細に追跡可能なデータでモデリングを行うことが重要であり，一方で、全体の流動の規模や総量を正確に把握するためには，断面交通量に対してシミュレーションを補正するデータ同化[8),9)]のプロセスを踏むことが重要である．そのため，各スケールにおいて利用者の動きを把握するデータ，断面の総量を把握するデータを取得することが必要となる．

具体的には，マクロスケールのアクティビティベースドモデルの構築においては、各利用者の日常的な移動を詳細に把握したパーソントリップ調査やプローブパーソン調査が必要不可欠である．しかしながら，これらは特定時点のサンプル調査であり，継続的かつ断面の総量を把握したい場合，携帯電話基地局データや鉄道の改札機データ等と組み合わせることが必要である．

ミクロスケールでは，利用者の移動経路や滞留場所，移動パターンを詳細に捉える必要がある．Bluetooth Low Energy（BLE）のセンサを駅構内等に設置することで，スマートフォンの Bluetooth を利用している機器等の動きを捉えることができ，利用者の移動経路の把握に活用可能である．また，プローブパーソン調査はGPSデータであるため，建物内の動きの把握には一定の制約があるものの，属性情報等のモデリングに有用な情報を把握できるため，補足的な活用も考える．これらの詳細データをベースにしたモデリングを行いつつ，カメラや改札機等で得られる断面交通量データとの整合性を保つためのデータ同化を施すことにより，駅構内や駅周辺での利用者の具体的な流動を再現する試みを進める予定である．

表-1　必要となるデータの全体像

スケール	モデリング	データ同化
マクロ	パーソントリップ調査データ プローブパーソン調査データ	携帯電話基地局データ等 改札機データ
ミクロ	BLE 調査データ プローブパーソン調査データ	改札機データ カメラ調査データ

(3)　本検討のねらい

前述のようなマルチシミュレーションの構築を目指し，本検討においては，渋谷駅山手線線路切換工事の切換前・切換中・切換後の 3 時点で，改札機，カメラ，BLE，プローブパーソン調査などの多様な観測データを取得する．さらに，広域及び駅構内で発生していた行動変容を明らかにすることで，シミュレーションの構築に必要なデータとモデリングにおける考慮すべき事項等の基礎的な知見を得るものとする．

3.　調査対象

今回，駅構内及び広域な利用者の行動変容を把握するため，2023 年 1 月 7 日（土）～8 日（日）で行われた渋谷駅改良第四回線路切換工事に着目することとした．本切換は山手外回りホームを撤去後，線路移設を行うとともに，山手内回りホームを山手外回り側へ拡幅し，山手ホームを 1 面 2 線化するものである．山手ホームが一つになり昇降施設及び駅コンコース通路の位置変更が生じるため，駅構内における切換前後での流動の変化が想定された．また切換中においては山手外回り線を終日運休とし，山手内回り線の減便（図-2）や埼京線の増発も併せて計画されていることに加え，駅構内のポスター掲示や車内放送，報道機関やSNSを通じて工事情報が広く世の中に発信されていたため，切換中の広域な利用者の流動においても切換前と比較して大きな変化が想定された．このため本研究では線路切換工事における切換前，切換中，切換後の利用者の行動変容を調査することとした．

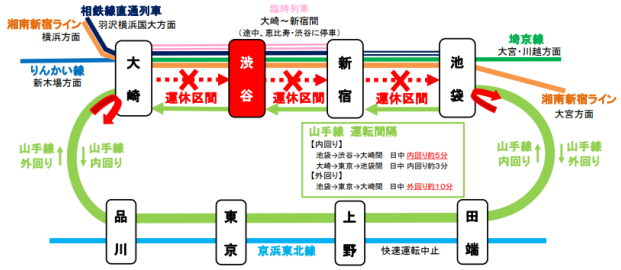


図-2　切換工事中の運行計画

(1)　駅構内の施設配置の変化

今回調査した渋谷駅の切換前後の施設配置変化は図-3～5 に示すように，線路切換工事により山手外回りホームが使用廃止になったことで，F~J の階段が廃止，また３階コンコースの改良により，C，D の階段の使用廃止，K 階段の使用開始，1 階ハチ公口 E 階段の混雑緩和のため，L 階段が使用開始となった．また、山手外回りホームが廃止になったことで山手外回り線の停車位置が大崎方に約 2 両分、移動となった．

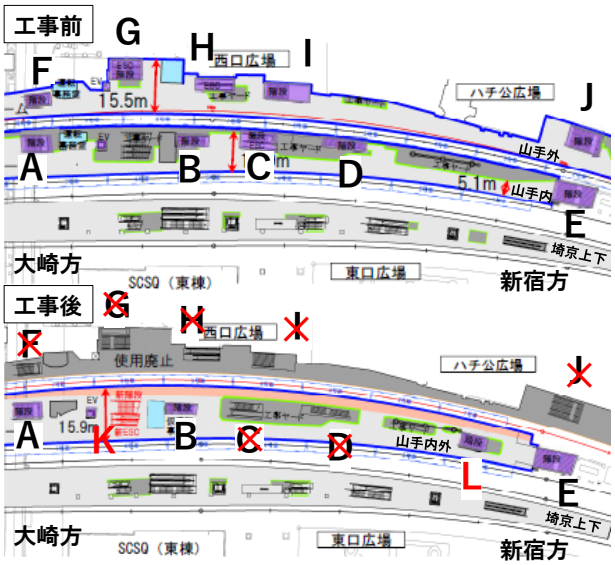


図-3　切換前後の施設配置

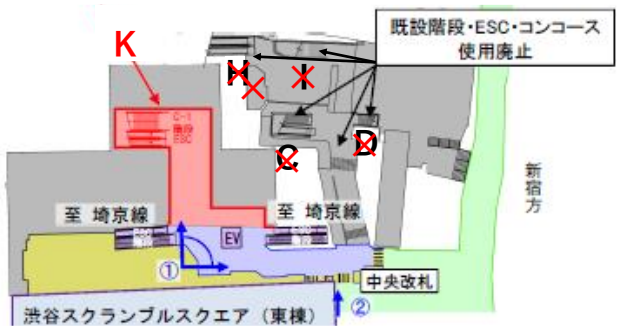


図-4　切換後の３F コンコース



図-5　切換後の１F コンコース（ハチ公改札）

(2)　カメラ調査

本調査では山手ホームの階段，エスカレータ毎にカメラを設置して画像を取得し，JR 東日本コンサルタンツ㈱で開発した AI エンジン「Gunsyu®」による超過密人流の自動計測技術を活用し，断面交通量等の計測を行った．使用した画像解析については利用者の極小範囲を検知する手法を取っており，駅構内の混雑箇所においても高い精度で測定が可能である．

①　調査期間

・切換前　2022 年 12 月 14 日から 12 月 20 日の 7 日間
・切換中　2023 年 1 月 7 日から 1 月 8 日の 2 日間
・切換後　2023 年 1 月 24 日から 1 月 30 日の 7 日間
※終日の計測を行い，10 分単位での集計を行った．

②　設置箇所（図-9）

・切換前 10 箇所，切換中 5 箇所，切換後 5 箇所
※上屋や工事用の仮囲い等に取付を行い，工事用電源や駅設備電源，自販機電源から受電を行った．

③　取得データ

・通過人数
※個人を特定できないデータとして利用



図-6　カメラの設置状況



図-7　階段部の画像解析状況



図-8　BLE センサの設置状況

(3)　BLE 調査

本調査では、駅構内における断面交通量及び利用者の移動経路を把握するために，Bluetooth Low Energy（BLE）を用いた調査を実施した．BLE センサを駅構内の複数個所に設置することで，スマートフォン等の Blutooth を発する機器のハッシュ化された MAC アドレスを最短数秒間隔で取得することにより，駅構内の経路を把握することが可能である．

①　調査期間

・切換前　2022 年 12 月 18 日，19 日
・切換中　2023 年 1 月 7 日，8 日
・切換後　2023 年 1 月 29 日，30 日

②　設置箇所（図-9）

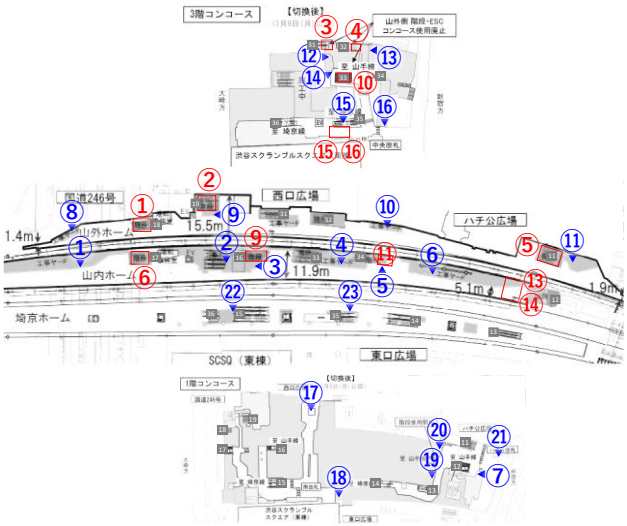
・切換前 23 箇所，切換中 17 箇所，切換後 16 箇所
※上屋や工事用の仮囲い等に取付を行い，バッテリーによる給電を行った．

調査の結果，取得されたユニークユーザー数は 6 日間で延べ 14,223,149 ユーザーであった．

(4)　プローブパーソン調査・WEB アンケート調査

広域的な流動の行動変容を把握するために，プローブパーソン調査（PP 調査）及び WEB アンケート調査を実施した．

PP 調査は，被験者のスマートフォンにアプリをインストールすることで実施する調査であり，GPS により一日の移動経路を取得しつつ，交通手段や移動目的を手動



※赤字：カメラ、青字：BLE

図-9　カメラ及びBLEの設置個所

表-2　PP 調査及び WEB アンケート調査の概要

項目	PP 調査	WEB アンケート
調査期間	<切換前> 2022 年 12 月 12 日～12 月 25 日の 14 日間 <切換中> 2023 年 1 月 7 日～1 月 13 日の 7 日間 <切換後> 2023 年 1 月 24 日～1 月 30 日の 7 日間	切換後の 2023 年 1 月 13 日にアンケート配信
対象者	151 名 うち 54 名は週 3 日以上 JR 渋谷駅に来訪する人 うち 97 名は週 2 日以下 JR 渋谷駅に来訪する人	1,900 名 うち 939 名は切換中に JR 渋谷駅を利用した人 うち 961 名は切換中に JR 渋谷駅を利用しなかった人
調査内容	・GPS による移動経路 ・交通手段、目的等のトリップ情報 ・利用車両，利用階段，利用改札等の駅構内の移動情報 ・性別、年齢、居住地等の属性情報	・普段の渋谷駅の利用頻度、利用路線 ・切換中の行動（交通手段・移動経路の変更有無、行先の変更有無等） ・性別、年齢、居住地等の属性情報

入力することにより把握するものである．本調査では，GPS では把握が難しい渋谷駅構内の動きを補完するために，別途アンケートで利用車両，利用階段，利用改札等を把握している．取得されたデータは延べ 3,134 人日であり，トリップ数は 9,251 トリップ，うち渋谷駅周辺が発着となるトリップは 1,418 トリップである．

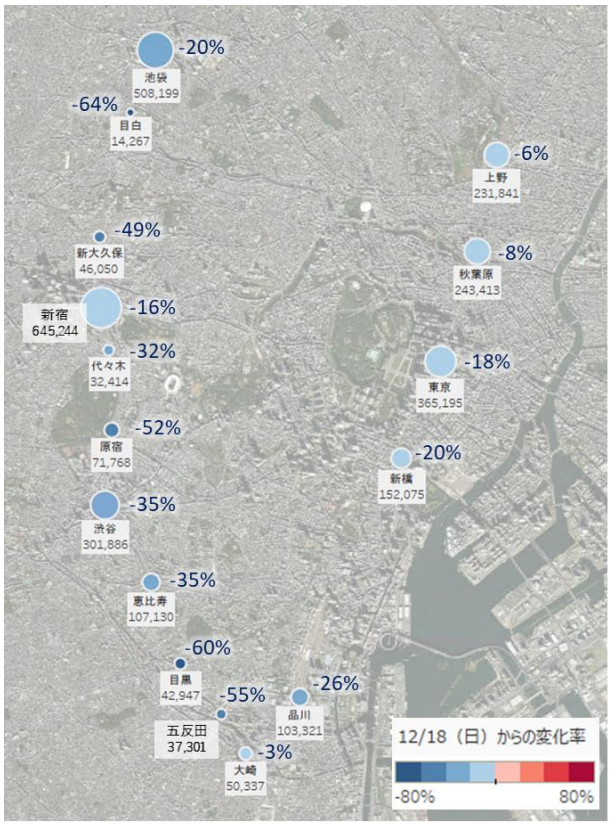
また，PP 調査では切換中の 2 日間のサンプル数が十分えられないため，WEB アンケート調査により補足的に切換中の行動変容を把握した．

4. 行動変容の実態分析

渋谷駅山手線線路切換工事による行動変容の実態を把握するために，利用鉄道駅や鉄道経路等の広域的な行動変容と鉄道駅構内における流動変化の 2 つ視点から分析を行う．広域的な行動変容に関しては切換中を主眼に分析し，鉄道駅構内の流動変化に関しては，切換中の変化及び工事期間後の変化の 2 つの視点から分析を行う．

(1) 切換中の広域的な行動変容

はじめに，改札機データから切換前（12/18）及び切換中（1/8）の JR 渋谷駅及び周辺の JR 駅の乗降客数の変化を確認する．JR渋谷駅では乗降客数が 35%減少している．運休区間以外でも減少しているため，年始による人出の減少分も含まれているが，東京駅等と比較しても減少率が大きく工事による影響が確認できる．運休区間は全体的に減少率が大きいが，特に，他鉄道会社の路線を除くと山手線のみ利用可能な駅（目黒駅等）は 49～64%減少と半数程度であり，運休となった山手線外回りの利用者がそのまま減少するかたちとなっている（**図-10**）．



※円の大きさは 1/8（日）の乗降客数の大小を示す

図-10 1/8(日)の乗降客数及び12/18(日)からの変化率

次に WEB アンケート調査の結果より，普段山手外回り線を利用していた人がどのように利用交通手段を変更したかを分析する（**図-11**）．渋谷駅を乗換のために利用していた人と渋谷駅周辺を目的地として利用していた人では大きな差は見られず，またバスやタクシーに転換した利用者も割合は低い．行動を変更した利用者のうちの大部分（乗換利用 45%，目的地利用 43%）は利用路線を変更している．また，鉄道利用路線の変更の内，半分以上は JR 内（埼京線・湘南新宿ライン）への変更であるが，半数弱は JR から他鉄道会社の路線に経路変更している．山手内回り線の代替経路として使われた他社路線は，東京メトロ副都心線，銀座線，半蔵門線の 3 路線の割合が高い（**図-12**）．各路線に変更した利用者の出発駅の分布を確認すると，例えば半蔵門線では半蔵門沿線だけではなく，北千住や綾瀬等の千代田線沿線の利用者も変更していることが確認できる．また，副都心線においても沿線だけでなく，有楽町線や西武池袋線利用者も JR から変更していることが確認できる（**図-13**）．

また，WEB アンケート調査においては切換工事中に JR 渋谷駅を利用しなかった人にもアンケートを行い，JR 渋谷駅を利用しなかった理由を把握した（**図-14, 15**）．切換工事のため渋谷駅周辺以外で活動したと 10%前後の人が回答しており，切換工事の影響により目的地の変更を行った人が一定数いることが確認できる．変更先は，新宿，池袋，原宿等の周辺の山手線主要駅のほか，二子玉川や中目黒等の山手線外側の駅周辺に活動場所を変更した人も確認できる．

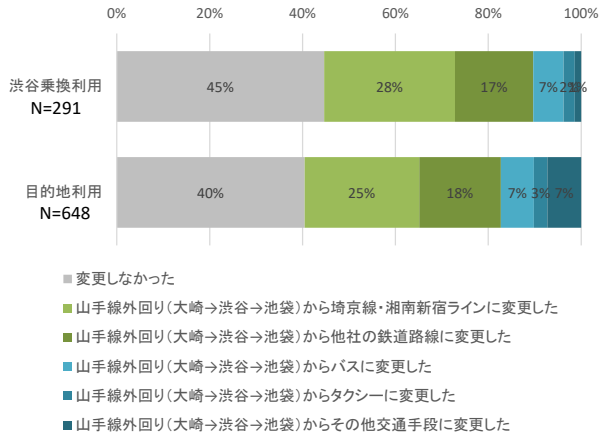


図-11 切換中にJR渋谷駅を利用した人の行動変容

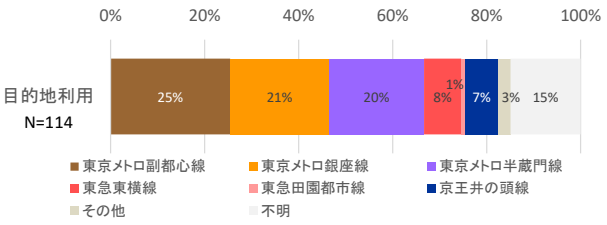


図-12 他社の鉄道路線に変更した人の路線別内訳

＜副都心線に変更した人の出発駅＞



＜半蔵門線に変更した人の出発駅＞



図-13　各路線に変更した人の出発駅の分布

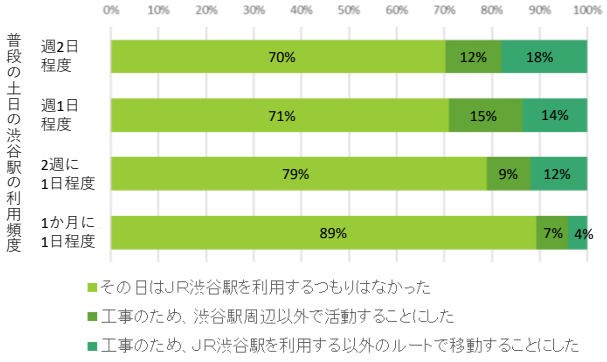


図-14　JR渋谷駅を利用しなかった人の行動変容

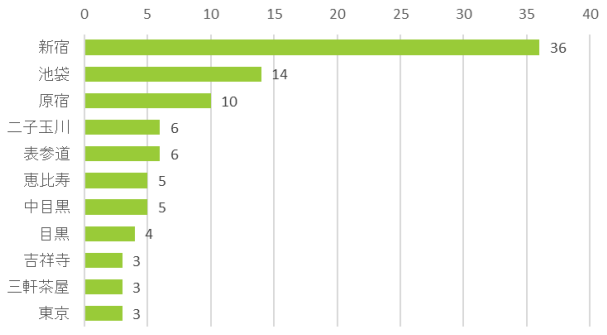


図-15　JR渋谷駅以外で活動することにした場所

(2)　切換中の駅構内の流動変化

切換中の駅構内の各地点の通行者数の変化を改札機データ及びカメラデータから確認する（図-17）．ハチ公口改札の北側方面での減少が 18.4 万人から 9.7 万人へと大きい．また，中央口改札の銀座線方面の減少も 3.0 万人から 1.6 万人へと大きい．そのほかの改札は 20%程度の減少である．また，山手内回りホームでは，ハチ公改札への階段の減少幅がやや大きい．

一方で，山手外回り線から埼京線に変更した利用者がいるため、埼京線ホームに至る階段の通行人数が多くなることが想定される．埼京線ホームに至る階段の通行者数はカメラで測定しなかったため，改札通行者数から他の階段の通行者数を除くことで推計する．ハチ公口改札利用者のホーム別階段通行者数を確認すると，埼京ホームへの階段通行者数は 12/17 と比較し 56%増加しており，これは通常の平日よりも多く，ホームが混雑していたことが確認できる（図-16）．また，乗車の山手内回りホームの減少率（64%）と埼京ホームと山手外回りホームの合計の減少率（61%）はほぼ同じであり，運休した山手外回り利用者が埼京線ホームを利用したと考えられる．

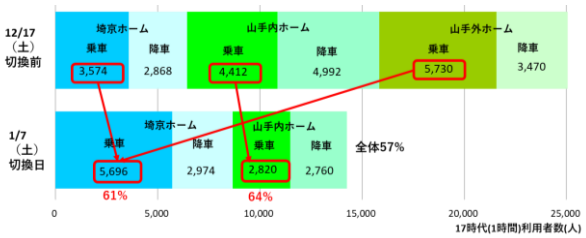


図-16　ハチ公口改札利用客のホーム別階段等利用者数
(ピーク時17時台，乗降別)

(3)　切換後の駅構内の流動変化

切換後の駅構内の各地点の通行者数の変化を改札機データ及びカメラデータから確認する（図-18）．改札においては，ハチ公口のハチ公広場側，南口の通行者数が増加している一方で，ハチ公口の北側方面の通行者数は大きく減少していることが確認できる．また，階段においては，切換前から存在するハチ公口階段の通行者数は変わらないものの，新設したハチ公口階段は 9.2 万人と多くの通行者数が利用していることが確認できる．また南口階段①（原宿側）の通行者数が 2.5 万人から 5.2 万人と大きく増加している．

階段に関して入場と出場の向きを分けて利用割合の変化を見ると，入場の割合は切換前後で大きく変化していないことが確認できる（図-19）．出場の割合は変化しており，ハチ公口及び中央口が減少している一方で，南口では3割以上に増加している．

切換工事により，このような利用階段の変化が起きた理由としては，①山手外回り線の停止位置が大崎方に移動した（約2両分），②中央口への階段・エスカレータ

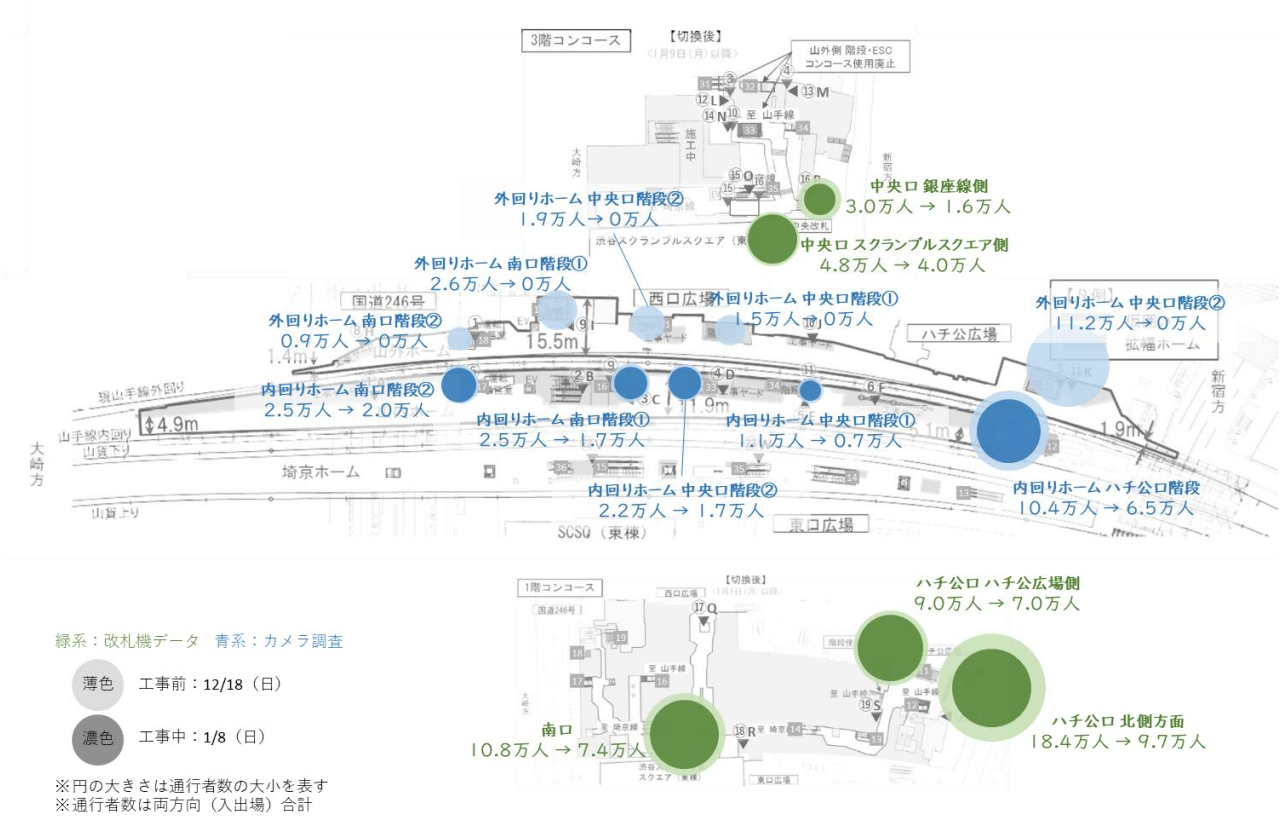


図-17　切換中の駅構内の地点別の通行者数の変化

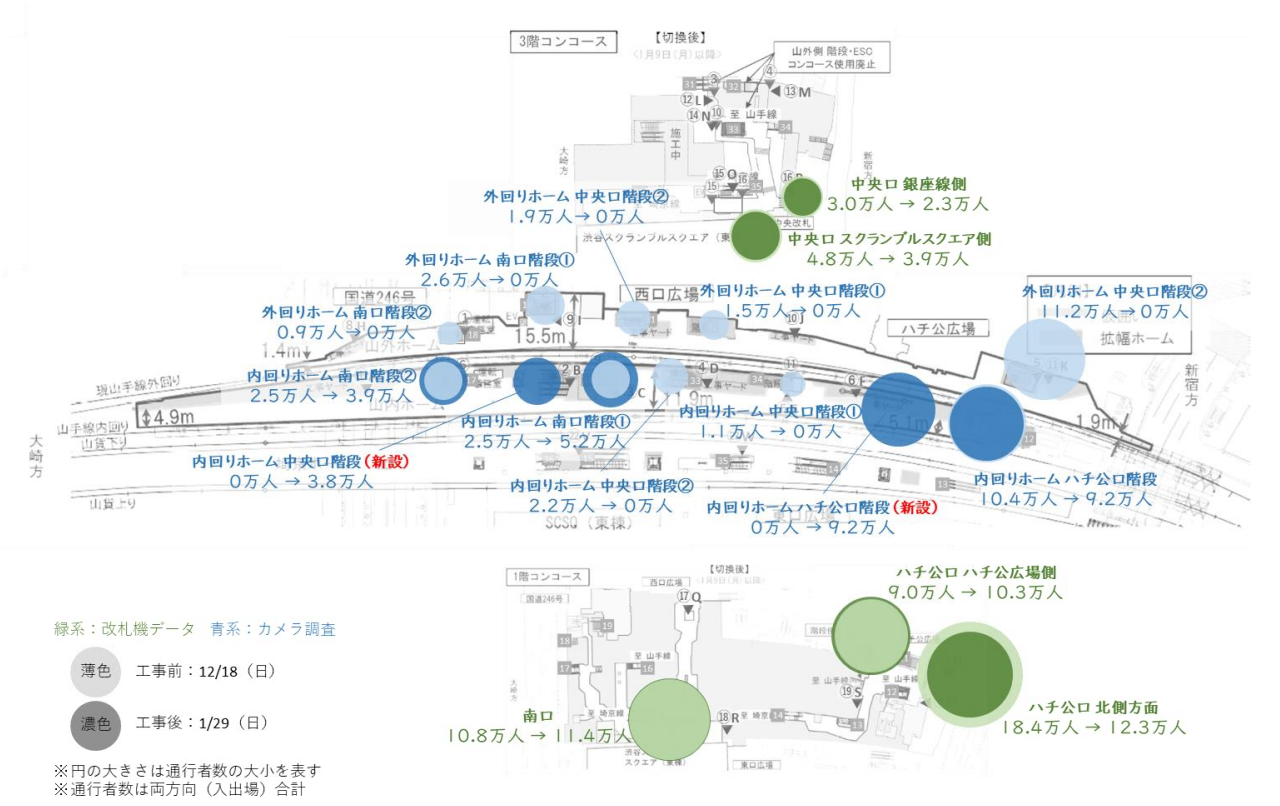


図-18　切換後の駅構内の地点別の通行者数の変化

が 1 箇所に集約された上に南口への階段に挟まれる配置となった，という 2 つの理由が考えられる．これらの要因により，降車した利用者にとって最寄りとなる南口への階段を利用する割合が増えたと考えられる．

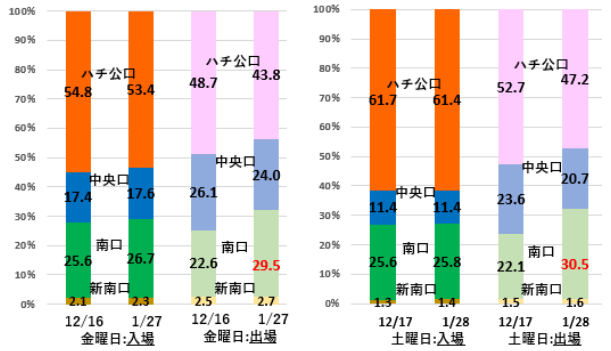


図-19　渋谷駅切換前後の改札口別利用割合の変化

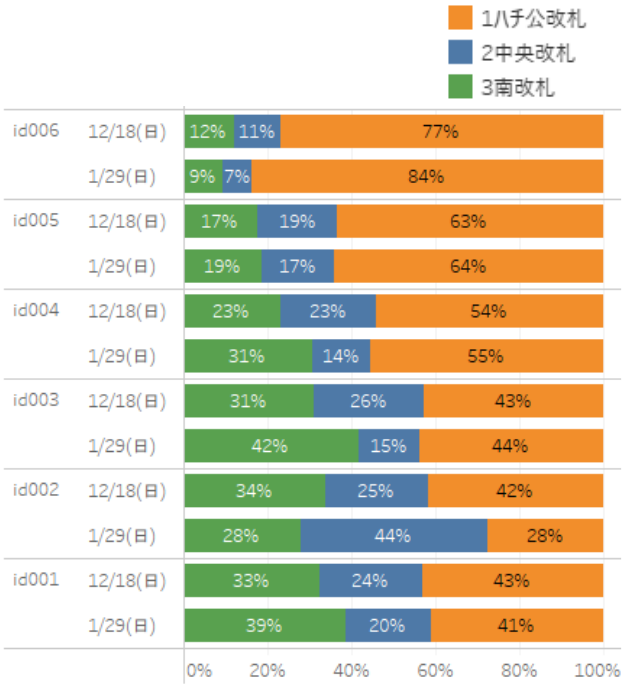


図-20　降車場所（BLE設置箇所）別改札口別利用割合の変化

BLE 調査結果から，降車場所別の出場改札の利用割合を確認すると図-20 のとおりである．山手ホームの中央付近（id003，id004）で降車した人は，南改札口の利用割合が高くなっており，前述考察したとおり，中央口への階段・エスカレータが 1 箇所に集約されたことによる影響が出ていると解釈できる．また，山手ホームの中央改札口階段付近（id002）で降車した人は，階段が集約されたことにより，中央改札口への割合が増加していることが確認できる．なお，BLE データを集計する際には，最初の 10 秒間で最も電波強度の強い BLE センサを降車場所とし，最後の 10 秒間で最も電波強度の強い BLE センサを出場改札とし集計した．

また最後に，PP 調査を用いて，降車時の利用車両別（降車場所別）の利用改札割合を確認する（図-21）．PP 調査では属性情報として普段の渋谷駅の利用頻度を把握しているため，利用頻度が週 4 日以上とそうでない人で分けて集計すると，週 4 日以上渋谷駅を利用する人は降車場所から近くの改札を利用する人が多い傾向にあるが，そうでない人は7-11 号車付近で降車した場合でもハチ公口改札を利用する人が多いことが確認できる．これは，渋谷駅の利用頻度が低い人は自分の目的地となる改札や車両を事前に把握できておらず，降車後に確認して行動する人が一定数存在するためだと推測される．渋谷駅は，利用頻度が低い人も多数訪れていると想定されるため，駅構内の流動を再現するためには利用頻度が低い人の混在を適切に考慮することが重要と考えられる．

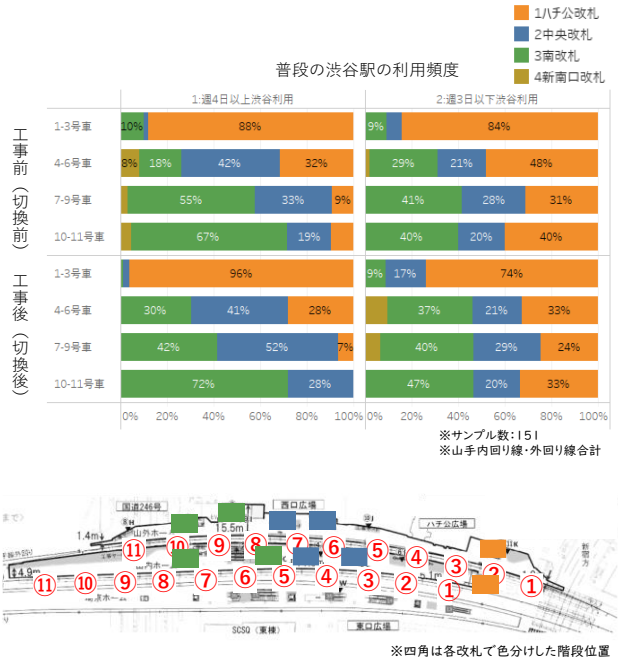


図-21　渋谷駅到着時の利用車両別の利用改札割合

5.　おわりに

本検討では，マルチスケールな利用者の流動の予測手法を構築するための基礎的な知見を得ることを狙いとして，切換工事前後の利用者の流動の計測結果を用いて行動変容の実態分析を行った．工事期間前・期間中・期間後の 3 時点で，改札機，カメラ，BLE，プローブパーソン調査等の観測データを基に分析した結果，広域的には以下の行動変容が発生していたことが確認できた．

- 山手線のみの駅（目黒駅等）は 50%程度と大きく減少，一方で，埼京線等の停車するターミナル駅は15-35%程度の減少
- 切換中に，移動経路を変更した利用者は大部分は鉄道での経路を変更，JR 内での変更（埼京線・湘南新

宿ライン）だけでなく，他社路線への変更も相当数みられる（居住地によって傾向あり）
・ 切換中は，渋谷駅周辺から他の駅周辺へと活動変更した利用者もみられる（周辺の山手線主要駅のほか二子玉川等の山手線外側の駅にも）

また，以下のような駅構内の流動変化が発生していることが確認できた.

・ 切換中は，山手外回り線利用者の減少にともない，改札の通行者数等が全体的に減少
・ 切換中の埼京線利用者数は増加していたと考えられるが，BLE 調査データを用いて引き続き検証
・ 工事期間後は，ハチ公口の広場側改札，南口改札の利用者数が増加する一方で，ハチ公口の北側方面の利用者数は大きく減少，また階段においても，新設階段が多く利用されるだけでなく，南口改札階段（原宿側）の通行者数が大きく増加するなど，駅構内の流動は大きく変化
・ 駅構内の移動傾向は，渋谷駅利用頻度が高い人は最短経路で移動する傾向が高いが，頻度が低い不慣れな人は長い距離を移動する傾向がある

今後は，これら集計分析で確認された行動変容を表現可能なモデル及びシミュレーションの開発を進める.

参考文献

1) 日比野直彦，山下良久，内山久雄：鉄道駅におけるモニターカメラから得られる歩行者挙動データの活用に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.22，pp.531-539，2005.
2) 今井龍一，山本雄平，姜文渊，神谷大介，中原匡哉，安藤祐輝：頭部に着目した歩行者交通量調査に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.78，No.2，I_82-I_92，2022.
3) 宮治卓実，寺部慎太郎，柳沼秀樹，田中皓介：Wi-Fi パケットセンサーから得られる電波強度を感度分析した歩行者交通量推計方法の検討，交通工学論文集，Vol.8，No.2，A_178-A_184，2022.
4) 西田純二，中村俊之，倉内文孝，宇野伸宏，中村眞，津山和之，大田香織，小林潔司：Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの連携による関西広域流動解析の実現，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.66，2022.
5) Bowman, J.L. and Ben-Akiva, M.E., : Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.35, pp.1-28, 2001.
6) Zimmermann, M., Västberg, O.B., Frejinger, E. and Karlström, A., : Capturing correlation with a mixed recursive logit model for activity-travel scheduling. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.93, pp.273-291, 2018.
7) Oyama, Y. and Hato, E., : Link-based measurement model to estimate route choice parameters in urban pedestrian networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.93, pp.62-78, 2018.
8) 澤田茜，小原拓也，佐々木邦明：アクティビティモデルとモバイル空間統計を用いた都市圏 OD 推計の可能性，土木計画学研究・講演集，Vol.55，2017.
9) Hara, Y., Sakai, T., Alho, A.R. and Ben-Akiva, M.E., : Screenline-based two-step calibration and its application to an agent-based urban freight simulator. Transportation Research Record, 2022.