

高速道路の交通規制施策への O2O サービス技術の活用可能性

南 航太¹・近藤 竜平¹・竹内 岳¹・深井 靖史²・秋山 岳³
松崎 健³・荒川 邦雄⁴・三橋 咲月⁴

¹ 非会員 首都高速道路株式会社 更新・建設局 調査・環境課 (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 2-2-1)

E-mail: k.minami613@shutoko.jp r.kondo156@shutoko.jp t.takeuchi3834@shutoko.jp

² 正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-13-14 マルヤス機械ビル 5F)

E-mail: y_fukai@doro.co.jp

³ 非会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-13-14 マルヤス機械ビル 5F)

E-mail: akiyama@doro.co.jp matsuzaki@doro.co.jp

⁴ 非会員 株式会社アドインテ (〒600-8441 京都市下京区新町通四条下る 四条町 347-1)

E-mail: arakawa@adinte.co.jp mitsubishi@adinte.co.jp

交通規制や通行止による交通影響検討においては、車両感知器や交通量調査等から得られるデータを元に量的・質的な道路の利用実態把握が行われている。一方、事前及び工事実施時における適切な広報・迂回誘導のためには情報発信の対象を絞り込むことが効果的だが、現状ではこのための質的データの収集・分析が不十分である。

そこで本研究では、マーケティング分野における O2O サービス技術を活用し、高速道路利用者の属性分析を試行するとともに、迂回誘導対策への活用可能性を検討した。具体的には首都高本線料金所に IoT センサーを設置し、走行車両に搭載された携帯端末を観測するとともに、その携帯端末に紐づく端末所有者の属性情報を収集し、道路利用者の質的な特性について傾向を分析した。さらに分析結果に基づく広報手法について検討した。

Key Words: Actual Traffic, Online to Offline, IoT Sencer, Characteristic Analysis, Traffic Measures

1. はじめに

通行止や車線規制等の交通規制を伴う道路工事を実施する場合、それによる交通影響・交通混乱を最小限に抑えることが求められる。そのためには、当該箇所における通常時の道路利用者の実態を把握し、その実態に合わせた的確な事前及び工事実施時の広報や迂回誘導といった交通対策を実施する必要がある。

首都高速道路においては、開通から 40 年以上経過した路線が全体の約 4 割¹⁾に達しており、過酷な使用状況等から高齢化が進んでいる。道路構造物を長期にわたって健全に保つため、首都高では大規模更新・修繕事業を実施・予定しているところであり、それに伴う規制による交通影響の軽減のためにも、交通利用実態を的確に把握するための手法確立の重要性が増しているといえる。

道路利用者の実態把握にあたっては、車両感知器・ETC 明細データ・ETC2.0 プローブデータ・OD 調査等の

既存の統計データ、工事実施区間とそれに関係する地点の交通量調査結果等を元に分析することが一般的となっている。これらを元にした分析は、適切なデータ・調査方法を選択することで、当該地点におけるその時点の特徴を的確に分析することができる。一方で、道路利用者の居住地や就業地、性別、年代といった個人属性や、移動中の立寄地や目的地の傾向等、質的な分析に関しては情報量が不足しており、工事広報の的確な時期・場所・媒体等の選定には明確な指標が存在しないのが実態である。したがって、広報の効果分析についても定量的な検証手法は確立されていない。

通常時における道路利用者の特性（当該地点の道路利用者の発集点や経路、居住地や就業地のエリア、当該区間・地点以外の行動パターンや立寄地の傾向など）を詳細に把握することで、事前広報による自動車利用自粛や他の交通機関への転換の促進、あるいは工事期間中における交通影響が小さい他道路への迂回誘導といった具体

的な交通対策を検討することが可能となる。

そこで、商業分野での活用が進んでいる O2O (Online to Offline) サービス技術に着目し、道路利用者が所有する携帯端末を観測し、道路利用者の属性分析を試みた。なお、この前段として筆者らは同様の IoT センサーを用いた観測実験²⁾を行っており、本研究はこれを用いた道路利用者属性分析を試行するものである。具体的には、高速道路の本線料金所に IoT センサーを設置し、そこを通過する車両に搭載されている携帯端末の観測するとともに、O2O サービス技術を用いて道路利用者の個人属性について分析し、その傾向を把握した。さらにその結果を活用し、工事実施時における広報手法を検討した。

2. 実験に使用する O2O サービス技術

(1) 使用機器

本調査では、株式会社アドインテが開発した「AIBeacon」を用いる。「AIBeacon」とは、Bluetooth と Wi-Fi の電波の検知が可能な IoT センサーであり、専用のアプリ等を必要とせず、携帯端末からのプローブ要求を観測可能という特徴を有する。携帯端末側で Bluetooth・Wi-Fi の使用が許可されていれば、センサーを中心に 3 次元空間に広がる収集範囲に進入した端末を観測することができる。機器の標準諸元を表-1 に示す。

本機器は商業施設を中心に活用実績³⁾⁴⁾が数多くあり、歩行者が所有する携帯端末を観測し、MAC アドレスを収集することで、それに紐づく情報から商業施設の利用圏域や来店頻度、属性等の利用実態分析が可能である。本機器を用いて収集したデータは、確実に施設を訪れた人が所有する端末に関わる情報であるため、訪問者のサンプリングを的確に行うことができる。

また、一度観測した端末は特定のアプリ起動中に送信される電波からインターネット回線を経由して、MAC アドレスと発信時の位置情報を追従して取得することで、観測地点以外の移動履歴のサンプリングが可能である。

(2) 携帯端末の観測の仕組み

「AIBeacon」によるデータ送受信仕様の概略を図-1 に示す。センサーのデータ収集範囲に進入した端末から、Wi-Fi Probe Request Packet を受信することで、Wi-Fi 経由で MAC アドレス (Media Access Control address) を取得する。また、独自のソフトウェア開発キット (以下 SDK, Software Development Kit) と連携することで、IoT センサーが発する BLE (Bluetooth Low Energy) アドバタイズ信号 (以下 BLE 信号) を送信し、SDK 経由でサーバへ送信された固有 ID (端末保有者の許諾を経たモバイル広告 ID であり、以下「広告 ID」) 付接触履歴データと、

表-1 「AIBeacon」機器諸元

品名	AIBeacon ver2.0
Wi-Fi	IEEE802.11 b/g/n 受信限界距離：200m/理論値
Bluetooth	Bluetooth4.2 / LE 通信限界距離：100m/理論値, 86m/実測平均
定格入力	DC 5V / 1.2A
サイズ	W55mm x D55mm x H15mm

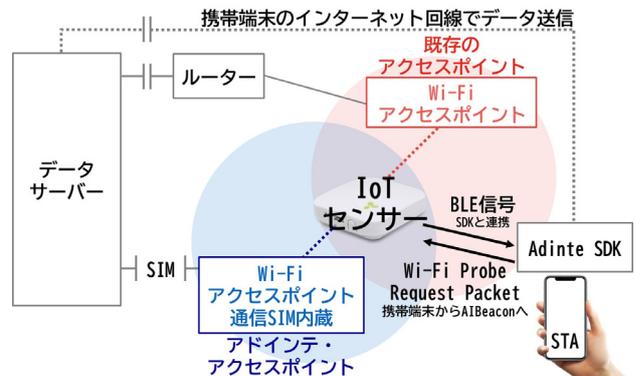


図-1 「AIBeacon」によるデータ送受信仕様の概略図

位置及び時間をパラメータとして同様性を持つと判定された MAC アドレスを参照する。いずれか一方の電波を経由して観測した端末情報をインターネット回線経由でデータサーバーに蓄積することで、データを集約している。

(3) 属性分析の仕組み

アドインテ社では独自のソフトウェア開発キット「AdinteSDK」を活用して作成された各種アプリの使用履歴データをもとに、個別の携帯端末に割り振られた広告 ID と通信時に使用する固定 MAC アドレスを結びつけるとともに、広告 ID に性別・年代等に関する推定情報を紐づけ、独自のリストを作成している。

IoT センサーで観測した携帯端末から取得できるローデータの中には MAC アドレス情報があり、これが前述のリストに含まれる場合は、その情報を突合することで端末所有者の属性分析が可能となる。

さらに観測した端末のうち、移動履歴情報を収集できたものについては、その情報をもとに居住地・就業地を推定している。具体的には、夜間の滞在地点を居住地、日中の滞在地点を就業地として推定し、リストのデータと紐づけを行っている。個人情報保護の観点から、移動履歴情報はメッシュ単位 (ジオハッシュ 7: 南北 152m 程度, 東西 123m 程度)、居住地・就業地については町丁目単位に集計したうえでアウトプットされる。

(4) 留意すべき「AIBeacon」の特性

「AIBeacon」の特性のうち、本分析にあたり留意すべき事項について整理しておく。

- i) 属性分析に活用できるデータは IoT センサーで観測した端末の一部である。前述のとおり、各種属性分析のためには、IoT センサーによる観測時に携帯端末の固有 MAC アドレスが取得でき、かつアドインテ社が独自に作成しているリストとの突合が可能なものに限定されることに留意する必要がある。過去の事例から、属性分析に活用できるデータは観測した端末の数%~10%程度である。
- ii) 携帯端末の電波・位置情報の送受信は携帯端末の設定に依存する。携帯端末側の Wi-Fi・Bluetooth の使用が許可されているか否かに加え、AdinteSDK を用いたアプリの使用状況に左右される。また、Wi-Fi Probe Request Packet の送信頻度および BLE 信号の取得頻度は携帯端末ごとに異なり、一般的に固有 MAC アドレスの場合、数十秒~十数分単位と広く分布する特徴を持ち、BLE 信号の取得頻度については、SDK が内包されたアプリの利用状況に依存をする。したがって、移動履歴の収集および居住地・就業地の推定に必要なデータは常時収集可能ではなく、端末保有者の行動の一部を収集したデータに基づくものであることに留意する必要がある。
- iii) 収集するサンプルによる分析は運転者の傾向と必ずしも一致しない。IoT センサーの収集対象は観測範囲に進入した端末すべてが観測候補となるため、同乗者が所有する端末や複数端末所有している場合の主端末以外のデータが収集される可能性がある。したがって、運転者に限らない、道路利用者全体の傾向として分析結果を見る必要がある。

表-2 実験概要

実施場所	首都高速神奈川 1 号横羽線下り 大師本線料金所
実施期間	2021 年 4 月 29 日~9 月 15 日/139 日間
設置位置	料金所第 3 レーンブース内

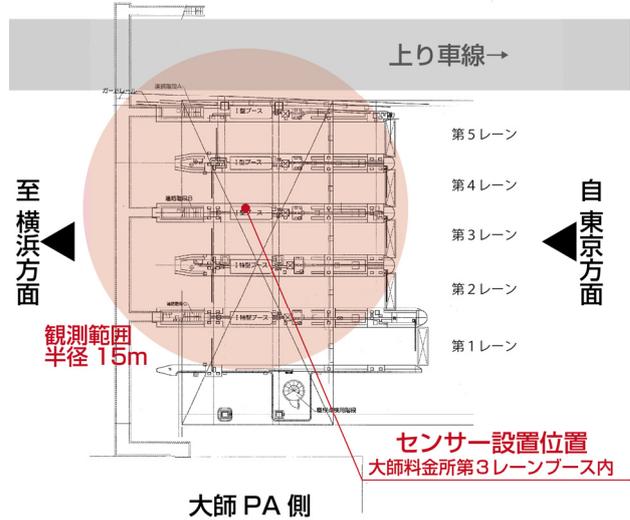


図-2 センサー設置位置/大師本線料金所内



図-4 年代・性別の構成比

3. 使用データ

(1) データ概要

分析に使用するデータは、大規模更新事業として架替工事が予定されている高速大師橋の付近である高速神奈

川 1 号横羽線下り大師本線料金所（神奈川県川崎市川崎区）に IoT センサーを設置し収集した（表-2）。設置位置は料金所の横断構成でほぼ中央に位置する第 3 レーンブース内を選定し、観測範囲は料金所レーンをすべてカバーできる半径 15m とした。その位置関係を図-2 に示

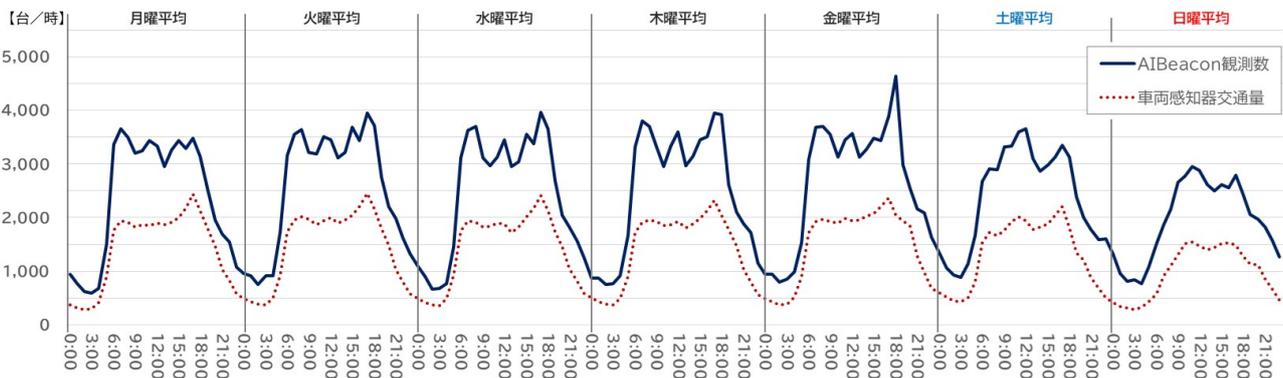


図-3 携帯端末観測数と車両感知器交通量の推移の比較/曜日・時間別平均：139 日分【台/時】

す。図示のように、観測範囲は下り方向の料金所全 5 レーンと、上り線の一部を含んでいる。また、大師本線料金所は高架上にあり、その下層には神奈川県道 6 号東京大師横浜線が並行している。

(2) データの特徴

センサーで観測した端末数と大師本線料金所における車両感知器による交通量データをそれぞれ 1 時間単位で集計したうえで曜日・時刻毎の平均値を整理したものを図-3 のグラフに示す。ここから、車両感知器の交通量よりもセンサーによる携帯端末の観測数の方がどの時間帯においても上回っていることが分かる。平均的な比率は 1.87、比率の分散は 0.11 であった。変動の幅はあるものの、概ね交通量の増減に連動して携帯端末の観測数も推移していることが分かる。取得期間の 139 日間に取得できたサンプル数は延べ 13,193,401 であった。

表-3 居住地／就業地の地方別構成比

地方区分	居住地／全日		就業地／全日	
	サンプル数	構成比	サンプル数	構成比
北海道地方	26	(0.1%)	29	(0.1%)
東北地方	112	(0.5%)	120	(0.5%)
関東地方	24,093	(97.0%)	24,537	(96.6%)
埼玉県	1,478	(6.0%)	1,313	(5.2%)
千葉県	2,139	(8.6%)	2,126	(8.4%)
東京都	8,764	(35.3%)	9,689	(38.2%)
神奈川県	11,192	(45.1%)	10,951	(43.1%)
1都3県計	23,573	(95.0%)	24,079	(94.8%)
中部地方	226	(0.9%)	282	(1.1%)
近畿地方	219	(0.9%)	282	(1.1%)
中国地方	62	(0.2%)	56	(0.2%)
四国地方	10	(0.0%)	10	(0.0%)
九州地方	78	(0.3%)	75	(0.3%)
合計	24,826	(100.0%)	25,391	(100.0%)

4. 分析結果

(1) 性別・年代

性別・年代の構成比を図-4 に示す。性別・年代については分析可能なサンプルを抽出したうえで、秘匿処理を行い、それぞれの構成比がアウトプットされる仕様としている。最も構成比が大きいのは 45～54 歳・男性で全体の 27.3% を占める。次点以降は 45～54 歳・女性の 11.5%、55～64 歳・男性の 10.9% と続く。25～34 歳・35 歳～44 歳の層では男性よりも女性の方が構成比が高い傾向にある。

(2) 居住地・就業地

データ取得期間中に収集できたサンプルのうち、分析可能なものはそれぞれ、居住地：24,826 サンプル／就業地：25,391 サンプルであった。これらは延べ数ではなく、端末所有者である個々人の総数である。この分布を地方別に集計した結果を表-3 に示す。居住地・就業地共に関東地方が 9 割強を占める結果となった。さらに 1 都 3 県に絞ってみると、東京都・神奈川県に集中しており、居住地・就業地ともに 2 都県で約 95% に達する。

図-5 に分析の一例として、居住地サンプルの分布を地図上にプロットした結果を示す。東京湾沿岸部を中心に分布しており、大師本線料金所に近い場所に多く分布している。表-4 は 2 都県の居住者数の多い上位 5 市町村を整理したものであり、ここから大田区・川崎市川崎区に特に集中していることが分かる。

(3) 移動履歴

データ取得期間中に収集できたサンプルのうち、移動

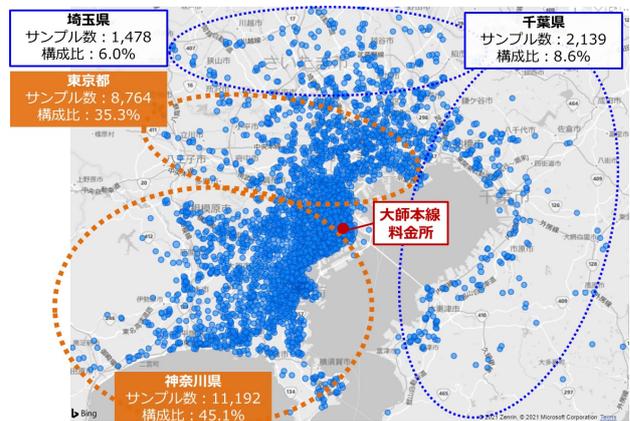


図-5 1 都 3 県における居住地の分布

表-4 東京都・神奈川県の上位 5 市区町村【居住地】

市区町村	計測数	構成比	市区町村	計測数	構成比
大田区	3,138	12.6%	川崎市 川崎区	2,528	10.2%
品川区	771	3.1%	横浜市 鶴見区	1,150	4.6%
世田谷区	610	2.5%	横浜市 神奈川区	810	3.3%
江戸川区	375	1.5%	川崎市 幸区	595	2.4%
葛飾区	367	1.5%	藤沢市	445	1.8%

表-5 移動履歴の分布／地方別構成比

地方区分	移動履歴 (延べ数)		1 都 3 県の構成比	
	サンプル数	構成比		
北海道	4,138	(0.1%)	埼玉県	323,567 (5.5%)
東北	20,367	(0.3%)	千葉県	510,931 (8.6%)
関東	5,822,217	(98.2%)	東京都	2,267,109 (38.2%)
中部	64,605	(1.1%)	神奈川県	2,599,252 (43.8%)
近畿	10,965	(0.2%)	1都3県計	5,700,859 (96.2%)
中国	1,084	(0.0%)		
四国	506	(0.0%)		
九州	4,575	(0.1%)		
合計	5,928,457	(100.0%)		

履歴を取得できたサンプル数は延べ 5,928,457 であった。この分布を地方別に集計した結果を表-5 に示す。関東地方に 98.2%が集中しており、さらに 1 都 3 県に絞って見ると東京都で 38.2%，神奈川県で 43.8%を占めている。

移動履歴の分布についてはその一例として、データが多く存在する東京 23 区周辺 (図-6) と横浜市・川崎市の沿岸部周辺 (図-7) を示す。

大師本線料金所で端末の観測を行っているため、首都高速道路とそこからつながる高速道路ネットワーク上を中心に移動履歴が分布している。また環七通り、環八通り、国道 1 号、第一京浜といった幹線道路にも移動履歴が多く分布し、これらの道路利用者が多い傾向にある。

さらに大田区・品川区や川崎市の国道 1 号と首都高横羽線に挟まれた地域といった大師本線料金所に近い地域や、東京一品川間や横浜市街地では、街路部にも多くの移動履歴が存在する。こうした地域は、大師本線料金所を利用する一定層が日常的に活動をしている地域と捉えることができる。

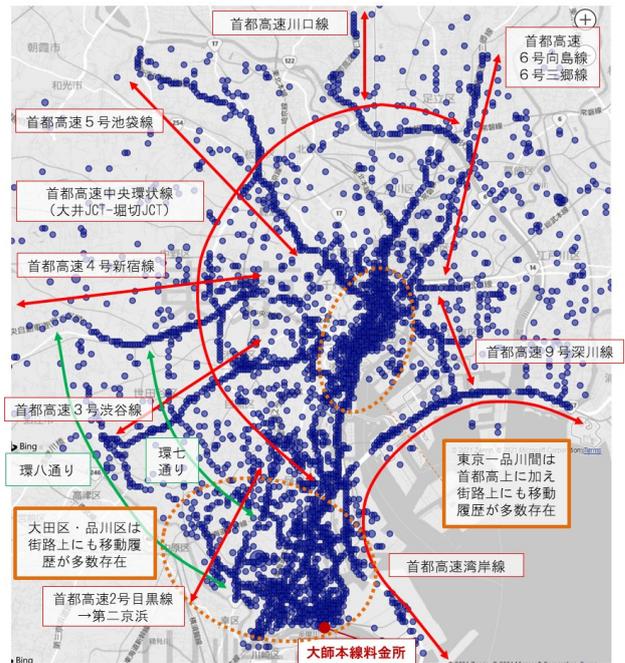


図-6 移動履歴の分布/東京 23 区周辺

5. 属性分析の結果を活用した広報手法の検討

IoT センサーを介して取得したデータを基に、大師本線料金所利用者の質的情報の分析を行った性別・年代・居住地・就業地・移動履歴の 5 項目について、これらの傾向を踏まえた広報手法の検討結果について述べる。

(1) 性別・年代の傾向を活用した広報手法

性別・年代については、45～54 歳・男性の構成比が最も高いことに加え、25～54 歳の女性の構成比も比較的高いことが分かった。この情報を基に、性別ごと・世代ごとの一般的な趣向・興味の傾向について、マーケティング分野から情報を収集し、それに応じた WEB サイト・SNS 等での広報を行うことで、高速道路利用者になりやすい広報が実施できると考える。

(2) 空間的データの傾向を活用した広報手法

居住地・就業地・移動履歴の空間的データについては、その粗密の程度から、表-6 に示すように地域単位での広報手段強化の程度を 3 段階に分類し、より効率的・効果的な広報を行うことができると考える。

具体的には、データ密度が低い地域においては、地域単位での積極的な広報強化は行わず、高速道路上における広報等、従来の手法をベースに広報を行うことが想定される。

データ密度が中程度の地域においては、工事や規制の情報をその地域の居住者・就業者の目に留まるように大規模商業施設や鉄道駅等の多くの人が集まる施設にお

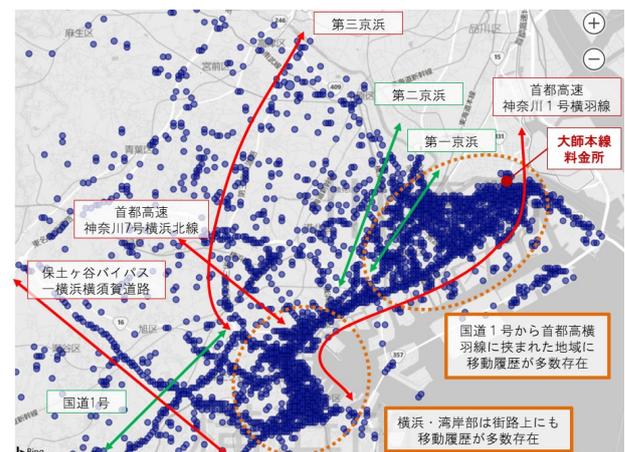


図-7 移動履歴の分布/横浜市・川崎市沿岸部周辺

表-6 空間的データの粗密を考慮した段階的広報

段階	データ密度	広報手段	想定する地域例
1	低い	・従来の高速道路上における広報等に対応 (地域単位での積極的な広報強化は行わない)	1 都 3 県 (下記地域を除く)
2	中程度	・多くの人が集まる施設 (大規模商業施設, 商店街, 鉄道駅等) での広報の充実	東京 23 区 横浜市・川崎市の沿岸部以外 相模原市・藤沢市
3	高い	・地域内各施設 (公共施設, 商業施設, 飲食店, 娯楽施設等) での広報 ・地域内交通機関 (路線バス・コミュニティバス・タクシー等) での広報	大田区, 品川区 東京駅周辺 横浜市・川崎市の沿岸部

る広報を強化することが想定される。

データ密度が高い地域においては、更なる強化を行い、公共施設、商業施設、飲食店、娯楽施設等の地域内各施設や路線バス・コミュニティバス・タクシー等の地域内交通機関での広報強化を行うことが想定される。

広報強化を行う手法としては、各施設内におけるポスターやデジタルサイネージ等の掲示物の複数配置、各施設や交通機関での放送等を活用した音声案内、チラシやパンフレットの配布等が考えられる。

また、街路において移動履歴情報が多く観測される路線・区間（例えば、図-6・7 中の緑矢印で示した路線）においては、横断幕の設置や街路上の文字情報板を活用した情報発信を行うことが想定される。

以上から、車両感知器や ETC2.0 等の既存データからは把握困難だった道路利用者の属性について、移動情報と紐づけた分析が可能となり、ターゲットを絞り込んだより効果的な交通対策への活用可能性が示唆される。

6. おわりに

(1) 成果

本実験で得られた成果として、まず高速道路上の本線料金所に IoT センサーを設置し、取得期間を長期間（139 日間）設けることで、O2O サービス技術を活用した道路利用者の属性分析や行動特性分析（性別・年代・居住地・就業地・移動履歴）が可能であることを明らかにした。

また、これらの収集・分析データをもとにした広報手段を検討することで、工事規制時に当該区間の利用が想定される道路利用者に対して、より効果的にリーチする可能性を示した。

(2) 今後の課題

今後の課題として、1) 取得データに基づいて検討した広報手段の実施とその検証、2) 質的な利用実態の把握をより高精度に行うためのデータ検証の 2 点が挙げられる。

首都高速道路における今後の大規模更新事業のひとつとして、高速大師橋の架替工事が予定されており、横取りによる既設橋の撤去・新設橋の一括架設のため、2 週間程度の高速本線通行止めを計画している。首都高速道路としては長期間かつ大規模な規制であり、周辺街路や広域ネットワークへの大きな影響が懸念されるため、工事実施及び規制の周知や広報等の交通対策を検討しているところである。

今回の実験で明らかになった課題を踏まえ、改めてデータ取得を行うことで、より詳細に質的な利用実態把握を行うための手法を確立および当該区間の道路利用者に的確にリーチできる広報手段の検討を進め、高速大師橋架替工事時の通行止に関わる交通対策検討に活用していくことを想定している。

参考文献

- 1) 首都高速道路株式会社：首都高速道路リニューアルプロジェクト，<https://www.shutoko.jp/ss/shutokorenewal/>，2021.5
- 2) 南航太，深井靖史，秋山岳，荒川邦雄，三橋咲月：O2O サービス技術を活用した高速道路の利用実態調査の可能性，第 41 回交通工学研究発表会，2021.8
- 3) 株式会社アドインテ：事業内容 AIBeacon，<https://adinte.co.jp/business/aibeacon/>，2021.5
- 4) 経済産業省：平成 29 年度中小サービス産業実態・対策調査 民間データによる地域経済社会動向に関する統計作成に向けた実証調査報告書，株式会社アドインテ，2018.3.

(2021.10.17 受付)

POSSIBILITY OF UTILIZING ONLINE-TO-OFFLINE MARKETING TECHNOLOGY FOR TRAFFIC MEASURES ON EXPRESSWAY

Kohta MINAMI, Ryuhei KONDO, Takeshi TAKEUCHI, Yasushi FUKAI, Takeshi AKIYAMA, Takeru MATSUZAKI, Kunio ARAKAWA and Satsuki MITSUHASHI

In this study, the attributes analysis of expressway users by applying O2O service technology used in marketing field was attempted. In addition, the possibility of utilization for detour guidance measures was examined.

Specifically, IoT sensor was installed at the main toll gates of the Metropolitan Expressway, and the observation of mobile device owned by people riding in vehicles was confirmed. Thenceforth, analyzed the trends in the characteristics of road users based on the data extracted from the sensors.

Furthermore, indicated the prospect of using O2O service technology for traffic countermeasures such as public relations for detour.