

デジタルツインを活用した交通需要マネジメントの構想と 社会実装に向けた検討

兒玉崇*¹ 岩里泰幸*¹ 中田諒*¹ 高島健一*² 西村拓哉*³ 河森大樹*³
阪神高速道路株式会社*¹
日本電信電話株式会社*²
株式会社 NTT データグループ*³

従来の道路交通マネジメントは、全方位的な広報や、事後的な施策の実施にとどまっており、施策ごとの効果把握や予防的な施策の実施には至っていなかった。近年、リアルタイムの交通状況を踏まえた予測やそれに基づく事前評価が行える環境が整ってきたことから、阪神高速と NTT 等は、今般、デジタルツインを活用した新たな交通マネジメントの社会実装に向けた検討を共同で行うことを発表した。本稿は、この取り組みの推進にあたり、交通工学と情報工学の技術・ノウハウを融合させた技術開発や、サービスの質と量の有機的な連携を柱に据えた、構想の全体像や検討の着眼点、技術課題等を体系的に整理したものである。

Concept of transportation demand management using digital twin and consideration for social implementation

Takashi Kodama*¹ Yasuyuki Iwasato*¹ Ryo Nakata*¹ Kenichi Takashima*² Takuya Nishimura*³
Daiki Kawamori*³
Hanshin Expressway co.,ltd*¹
Nippon Telegraph and Telephone Corporation *²
NTT DATA Group Corporation*²

Traditional road traffic management has mostly involved public relations activities and implementing measures after congestion occurs, and it has not been possible to understand the effects of each measure or implement preventive measures. Therefore, Hanshin Expressway Company and NTT Group have decided to consider the introduction of transportation demand management using digital twin. In promoting the new project, this paper summarizes that an overview of the concept, points of consideration, and technology of issues are arranged systematically, thinking about the fusion of traffic engineering and information engineering, the management service that links quality and quantity.

Keyword: Digital Twin, Transportation Demand Management

1. はじめに

昨今の IoT デバイスの大衆化に伴い、個人や個車の移動データ等の常時観測が可能となる一方、ユーザの多様な移動ニーズに個別に応えるサービスや、複数のサービスをシームレスに利用できる MaaS (Mobility as a Service) という概念が重視される時代になりつつある。また、情報処理技術の発展に伴い、サイバー空間での事前評価に基づいた最適策を合理的に講じるためのデジタルツイン技術も実現に近づくなど、データ駆動型マネジメントの社会実装がいよいよ現実味を帯びてきた (図 1)。このように、デジタル社会への移行は、多様性への円滑な対応や実施プロセスの合理化を大きく加速させるものである。

以上のような社会情勢の変化や、多大な交通影響を及ぼす懸念もある高速道路の大規模更新事業の本格化、大阪・関西万博といった大規模イベントの開催を直前に控えていることも踏まえ、阪神高速と NTT 等は、2023 年 4 月、都市の道路交通の整流化に貢献するデジタル技術を活用した新たな交通マネジメントの実装に向けた検討を共同で実施することを発表した¹⁾。

なお、本共同検討は、交通工学と情報工学の知見・ノウハウを融合させた技術開発や、サービスの質と量の有機的な連携を柱に据えており、日本人が得意とする技術の擦り合わせによる新たな交通マネジメントの具現化として、社会実装を目指すものである。

本稿は、社会実装に向けて検討中の、人と交通のデジタルツインを活用した交通需要マネジメントについて、構想の全体像や検討の着眼点、技術課題等を体系的に整理したものである。

2. 道路交通マネジメントの現状

阪神高速では、これまで 1 回/年程度、路線単位で、通行止めを伴う大規模規制工事を実施してきたが、交通影響の大きい大規模規制の実施にあたっては、有効な道路交通マネジメントを、交通管理者を含む社会から強く求められる状況にある。しかしながら、現実には、マスメディア等を用いた、工事期間中の車利用の自粛の呼びかけ等を主目的とした広報施策 (交通需要マネジメント：TDM) が中心であり²⁾、実際にどれだけのユーザにリーチでき、どのユーザがどの施策に反応し行動を変えたのかの観測やそれに基づくマネジメントは行えていない。また、大規模規制工事期間中は、高速道路への流入交通抑制のために、入路閉鎖などの流入制御 (交通システムマネジメント：TSM) を行うこともあるが、交通管理

者との事前の取り決めに基づき、閾値以上に渋滞が延伸 (容量低下) した後に実施するに留まっており、現状は、予測に基づき容量低下前に施策を講じるような予防的な実施は認められてはいない。さらに、入路閉鎖に伴う一般道路への影響も把握できていない中で実施しているというのが実情となっている³⁾。

今般、デジタル社会が到来しつつある状況の中で、上記の現実を鑑みると、これからの時代は、ターゲットユーザの特性を把握しその行動を予測したうえで個別に多様な施策を講じられることや、各施策に対し行動変容の実行状況を観測できることが重要となる。さらに、周辺道路を含む交通影響に対する説明性の高い予測技術を前提に、適切なタイミングで適切な施策を講じるためのデジタルツインの実装が、道路交通マネジメントとそれを具現化するサービスにおいても期待されるようになってきた。本稿は、特に行動変容施策に着目しており、人と交通のデジタルツインを活用した交通需要マネジメントの全体構想や検討の着眼点、技術課題等に対し、交通工学と情報工学の融合や、マネジメントを実装するサービスでの質と量の連携に着眼して整理を行っている。

3. デジタルツインを活用したマネジメントの構想

3-1 要件：変動に対応した交通流シミュレーション

1) 交通流シミュレーションの採用

デジタルツインとは、リアルタイムにデータを取得し、サイバー空間にて様々な施策を事前評価して最適な予防施策を導き出すものであり、その中核を担うのがシミュレーションである (図 1)。そのため、シミュレーションには、予測精度に加えて、政策として、予防的に実施するための説明性が重視される。なお、交通影響が予測可能なシミュレーションには、交通需要 (OD) を入力して各車両の移動を再現しネットワーク上の交通状態 (リンク速度・交通量等) を推定するマルチエージェント・シミュレータや、

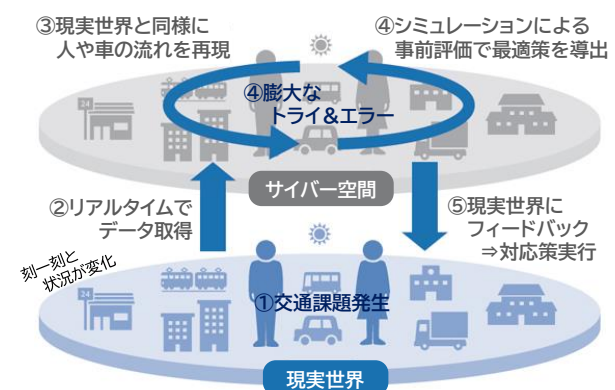


図 1 デジタルツインを活用したマネジメントのイメージ

車両検知器や車両プローブ情報などからリンク速度を観測し過去実績の学習に基づいて未来のリンク速度を予測するサロゲートモデルなどがある。しかしながら、行動変容施策を政策として展開していくには、どの程度の車両台数のどのような行動変容が交通影響をどの程度変化させられたかの評価を求められることや、大規模規制工事や大規模イベントなどの前例のない交通イベントでは教師データの不足が予想されることなどから、マルチエージェント・シミュレータの採用が妥当と考えている⁴⁾。

2) 現状の交通流シミュレーションの課題

しかしながら、マルチエージェント・シミュレータも含めた、一般的な交通流シミュレーションは解決すべき課題を多く抱えている。例えば、入力する交通需要 (OD) や交通モデルの係数 (配分パラメータ、高速道路転換率式、各リンクの k-v パラメータ、交通容量) には標準値が採用され、標準日に対してのみ現況再現を行う。そのため、月・日種や天候の違い、イベント開催等に伴う出控え、突発事象を含む日々の変動への対応など、現実世界で発生している複雑な交通現象を柔軟に再現できないことが長年課題とされてきた (図 2)。このことは、状況の変化に応じて適切な施策を判別することが特徴のデジタルツインにおいて致命的となる。さらに、デジタルツインの構成要素である外部データとの連携に必要な位置表現の対応付けや、リアルタイム運用に耐え得る処理時間、対象範囲の考え方など、実際に運用するうえで検討が必要な実務課題も数多くあった。

3) 現状の交通流シミュレーションの改善の方向性
前述のシミュレーションが抱える課題を解決するには、日々の傾向を踏まえた OD の生成、変動に対応できるシミュレーション構造、道路ネットワークリンクの汎用化などへの対応が必要であり、加えて、より説明性の高い算出プロセスの整理が重要となる。以上を踏まえ、図 3 に算出プロセスを整理した。

ポイントは、①携帯電話等に基づく人流データにより日々の傾向を踏まえた OD を生成、②当日の人流量やリアルタイムでの観測交通データを活用したデータ同化による (デジタルツインの要件でもある) 変動への対応、であり、各種パラメータも実績と最も整合する値の組合せを導出する構想となっている。また、道路ネットワークリンクの汎用化は、DRM リンクを介した対応付けで解決を図る (図 4)。なお、図 3 の算出プロセスは、説明力のある交通工学のモデルをベースに、情報工学の知見を活かして変動に対応させることで、現実世界の複雑な交通現象を柔軟に再現するという考え方に基づいたものである。

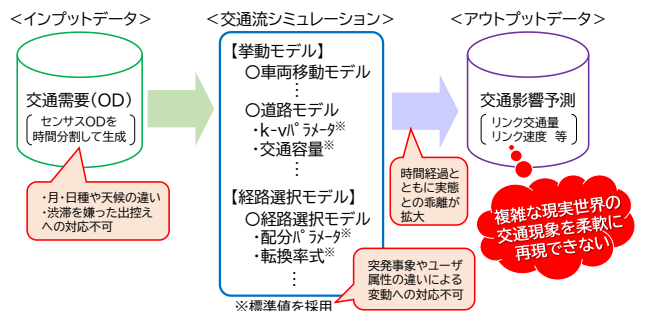


図 2 交通流シミュレーションの現状課題

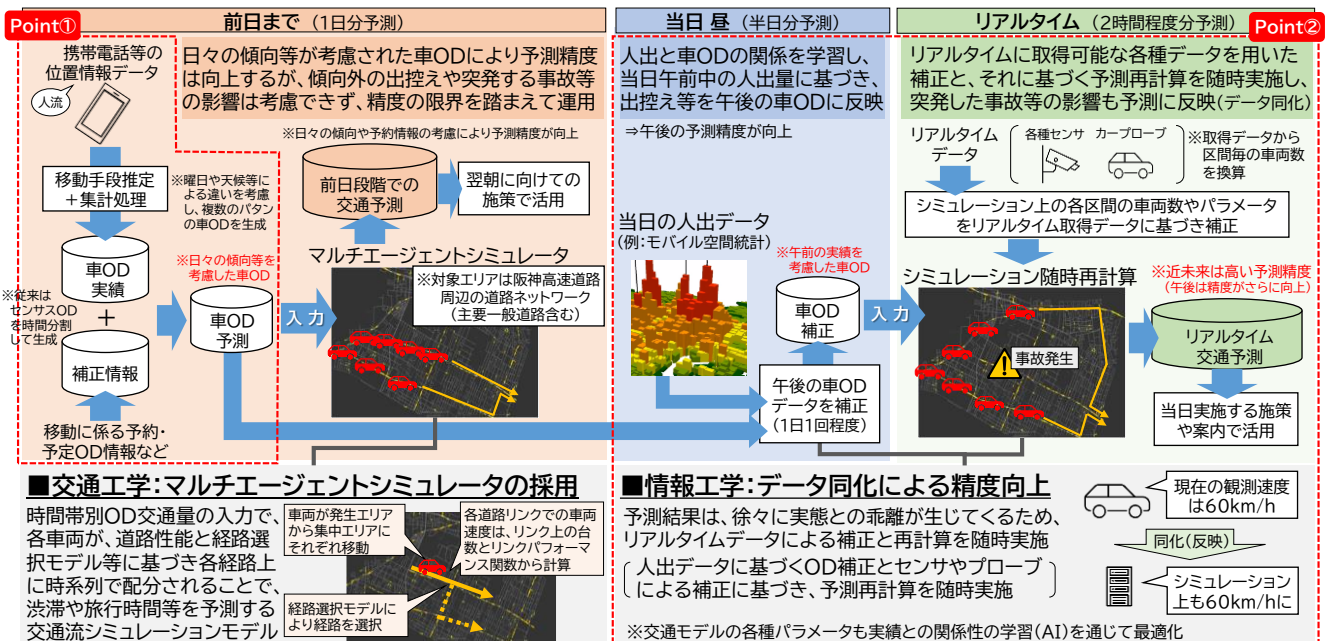


図 3 日々の傾向や様々な変動 (デジタルツインの要件) にも対応できる交通流シミュレーションの構想

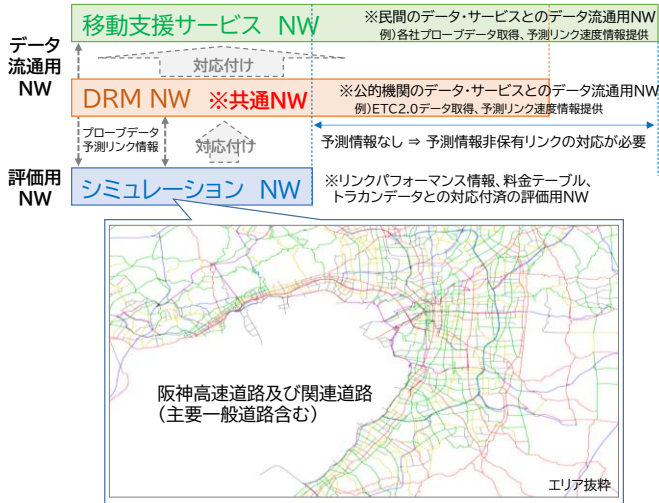


図4 道路ネットワークリンクの位置表現の対応付け

4) 社会的な受容性獲得のための実績づくり

交通影響を緩和するには、交通影響発生前に判断し予防的に対処するのが効果的で、それは前述のデジタルツインの活用により可能となるが、実際に実行するには、交通管理者を含む社会の受容が前提となるため、本格導入前に、予測の精度や実施する施策の有効性を実感させるステップを設けることが望ましい。そのため、2025年に開催される大阪・関西万博の機会に大々的に試行し、精度や有効性を実証して成果を社会に示すことが、社会的な受容性を獲得するうえでの足掛かりになるものと期待している。

3-2 具現化：個に着目した行動変容施策の自動化

デジタルツインを活用した行動変容施策を実装するという事は、各ユーザの様々な行動変容に対する実行の有無とそれによる効果の予測を、膨大な組合せのパターン数行い、最も評価値の高い組合せを選定するというプロセスを自動化するという事であり、人の行動シミュレーションによる交通シミュレーションの具現化と見做すこともできる。本項では、このようなデジタル行動変容施策の構想について、具現化に向けた検討状況を紹介する(図5)。

1) ターゲットの抽出(案)

まず、対象の渋滞を予め想定して施策実行の条件(閾値)を設定しておき、閾値超過の際には、当該渋滞の発生・延伸に影響を与えるトリップ群(以下、流入OD)を抽出し、流入ODに該当するリーチ可能な対象ユーザ(マネジメントとして機能させるサービス(以下、マネジメントサービス)を利用する対象ユーザ)を抽出することを考えている。ただし、これには、シミュレーションとマネジメントサービスとの間でOD情報が連携可能なことが前提となる。

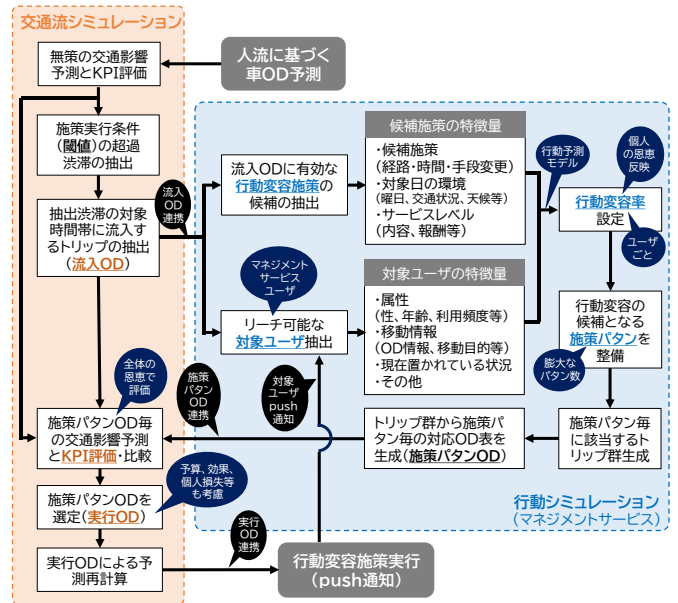


図5 個に着目した行動変容施策の自動化のイメージ(人と交通のデジタルツインの具現化)

2) 行動変容の候補となる施策パタンの整備(案)

次に、同流入ODに対し有効な行動変容施策候補(以下、候補施策)を抽出する。そして対象ユーザごとに、その特徴量(属性、移動情報、現在の状況等)と、候補施策の特徴量(当日の環境(曜日、交通状況、天候等)やサービスレベル(サービス内容や報酬等)等)の組合せ(以下、施策パターン)に対し、特徴量を変数とした行動予測モデルによる行動変容の実行率(以下、行動変容率)の算出を考えている。なお、行動変容率は、当初はアンケート等による暫定値を採用し、運用を通じ、実績を踏まえてモデル化していく(変数は当初、属性の大分類とし、段階的に個人レベルまで増やしていく)構想である。

3) 実行する施策パタンの選定(案)

施策パタンの選定は大量の施策パターン候補に対し、交通影響のKPI評価を通じた選定を想定している。ここで、KPI評価に用いる指標は、費用や快適性・安全性、付加価値など、行動変容にあたっての条件(個人の恩恵)が行動変容率に反映されることを鑑み、総旅行時間(全体の恩恵)が妥当と考えている。また、候補施策はトリップでの表現が合理的であり、具体的には、時間変更は該当トリップの時間スライド、経路変更は該当トリップに対し特定の経路地情報を付与、交通手段変更は該当トリップの削除などで表現し、実行する施策パタンのOD表(実行OD)を入力して行動変容先の経路・時間帯も含め影響範囲全体の交通影響を算出する。ただし、交通手段変更については、変更後の旅行時間も別途算出しておき、KPI評価に含めることを想定している(表1)。

表1 高速道路ユーザに対する行動変容施策の概要

行動変容施策	経路変更		立ち寄り		交通手段変更	
	時間変更	経路変更	一時退出・再流入	立ち寄り	パーク&ライド	交通手段変更
概要	渋滞時間をさけて出発時間を前倒し(後倒し)	渋滞時間をさけた経路に変更	渋滞時間をさけて一般道路へ一時的に立ち寄り再流入	渋滞区間・時間をさけて一時的に立ち寄り再流入	都心近くまで車を利用して都心内の移動は公共交通等を利用	公共交通等の利用による移動に交通手段を変更
判断時期	前日が望ましい	当日でもOK	当日でもOK	前日が望ましい	当日でもOK	前日が望ましい
トリップ表現	時間スライド	経路地設定	経路地設定	トリップ分割	トリップ一部削除	トリップ削除
KPI評価(総旅行時間)	OD入力により試算された交通影響は総旅行時間で評価される				公共交通での旅行時間を評価	
移動支援	不要	望ましい	必要	必要	必要	必要

なお、施策効果や特定の個人の許容超の損失の有無、予算などの諸条件も実行判断時に考慮されるだろう。

以上により、個と全体の恩恵が両立したデジタル行動変容施策が実装できると考えている。なお、この手法は他の交通手段ユーザにも応用可能と考える。また、当面、これらは処理時間が課題であり、場合によっては、予め膨大な数のシミュレーションを行いその結果を学習させておき、当日観測される諸条件に該当する試算結果を抽出し比較評価を行うサロゲートモデルによる運用も検討が必要と考えている。

3-3 実装：マネジメントとして機能させるサービス

人と交通のデジタルツインを活用した交通需要マネジメントを機能させるには、施策側が多くのユーザに任意でリーチでき、施策側が期待する行動変容をユーザが確実に実行するよう手助けするサービスが必要となる。ただし、都市内の平日の渋滞に影響を与える可能性の高い多頻度ユーザは、経路検索やカーナビなどの所謂移動支援サービスを日常的には利用していない可能性に留意する必要がある。

以上を踏まえ、交通需要マネジメントとして機能させるサービスのあり方について、以下に整理した。

1) マネジメントサービスに求められる要件

人と交通のデジタルツインを活用した交通需要マネジメントを実装するには、大量の多頻度ユーザへのpush通知が有効だが、それには同ユーザの登録の多い大規模会員サービス（移動支援サービスに限定せず）との連携が不可欠である。さらに多様な移動に対し、普段と異なる移動の仕方へ確実に導くには、その移動条件（出発/目的地、出発/到着時刻、経路、交通手段、経路地等）に対し柔軟かつ具体的に対応できる移動支援サービスへの自然な連携が鍵になる。

ここで、移動支援サービスとは、地図・(経路探索)エンジン・コンテンツで構成されており、これらの適切な組合せがMaaSとして、さらにマネジメントとしての実効性も高めることになる。そのためには、シミュレーションとサービスとで異なる可能性のある位置表現の対応付け(地図連携)、エンジンを有効活用するためのシミュレーション予測結果との動的

な連携(エンジン連携)が必須であり、加えて、多様な情報(他の交通手段情報、店舗・施設情報、予約・決済フォームとのリンク)や決済機能(クーポン発行等)といったMaaSの構成要素となるコンテンツ連携も実効性を左右する。さらに、そのUIも行動変容動機の活性化において重要となるだろう。このように、移動支援サービスは、ニーズに応じた選択肢を提供し、その魅力が行動変容の実行を後押しする。そのため、前述の多頻度ユーザの傾向を鑑みると、同ユーザが利用する大規模会員サービスから移動支援サービスへの動線を創出し、一連のマネジメントサービスとして運用することが合理的であり、行動変容に資するメッセージを会員サービスから通知し、判断の後押しとして、コンテンツが充実した移動支援サービスに自然に導くことが、質・量とも充実したマネジメントサービスとして機能させるためのポイントになると認識している(図6)。

2) 移動の社会評価により創出される新たな価値

サービスとしての発展性を見据えると移動を社会視点の指標で動的に評価できることは画期的である(移動の社会評価)。さらに、評価結果が動的であることは、動機活性化や継続性に強みを発揮するゲーミフィケーションとの親和性が高まり、評価結果にゲームの思想を採り入れることで移動をサービス化することも可能になる⁹⁾。これらは、行動変容の継続性向上にも寄与するほか、移動が、移動後の目的行動のために強いられるもの付随するものといった位置づけから、移動自体がサービスとして価値を持つことになり、それによって、社会視点で望ましい移動の促進も進むという好循環が期待される(図7)。



図6 質・量の充実したマネジメントサービスの動線イメージ(人と交通のデジタルツインの社会実装)

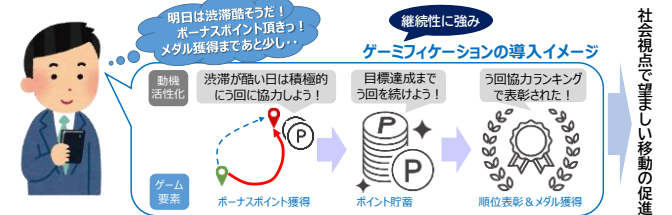


図7 社会視点で望ましい移動をサービス化するイメージ

【パーク＆ライド促進の検討イメージ】

高速道路を利用して都心のデパートへ買物に行く際に、割高で満車の恐れのある都心の駐車を避け、環状線の手前の出口で高速道路を降りて、予約可能で割安な駐車場を利用し、公共交通を、施設利用とのセット割引で利用できるようなサービス連携を目標に検討

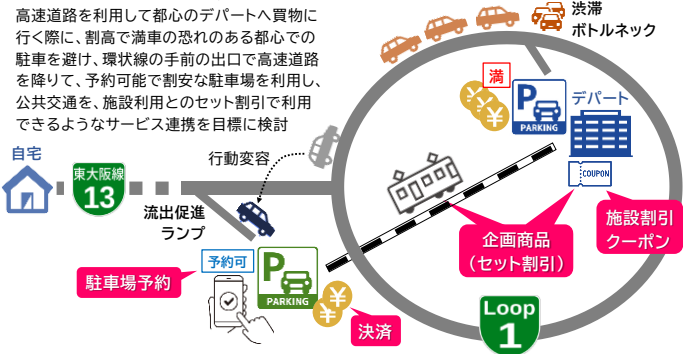


図 8 サービス連携による行動変容促進の検討イメージ (環状線手前出口の利用によるパーク＆ライドの例)

3) サービス連携における留意点

図 8 にサービスの価値を向上させ、行動変容も促進させる連携コンテンツ (駐車場予約, 施設割引クーポン, 企画商品, 決済機能等) のイメージを図化した。これらの多様性を鑑みると、自前提供は困難と思われ、より多様なパートナーとの連携が重要で、公共の観点でも幅広く連携し選択肢を増やすことが望ましいと考えている。しかしながら、これにより、MaaS の実務課題でもある“競合社同士の混在”が生じ競争領域の調整が複雑化することも危惧される。これらを鑑みると、社会視点でのマネジメントでは、営業領域が競合する複数の事業者との個別連携に基づく合議的な進め方は課題山積に陥る可能性があり、マネジメントの円滑な遂行には、ノウハウを有する中立な運営者による主導が現実的なものかもしれない。

3-4 デジタルツインを活用した交通需要マネジメントの社会実装に向けた検討における技術課題

前項までの整理を踏まえ、表 2 に実装に向けて検討が必要な技術課題を、交通需要推定, 交通影響予測, 行動変容提案, サービス連携の区分で整理した。

今後、これらの技術課題への対応を通じデジタルツイン構築に向けた検討の進捗を図っていききたい。

4. まとめ

阪神高速では、デジタル社会の到来を見据え、人と交通のデジタルツインを活用した交通需要マネジメントを NTT 等と共同で検討しており、本稿では、交通工学と情報工学の融合や、マネジメントサービスにおける質と量の連携を柱に据えた、構想の全体像 (要件, 具現化, 社会実装で整理) や検討における着眼点, 技術課題等について体系的に整理した。今後は、2025 年の大阪・関西万博での試行に向けて、さらに検討を深めていきたい。

表 2 社会実装に向けた検討における技術課題一覧

項目 (案)	概要 (イメージ)	
交通需要推定 (OD生成)	ゾーン設定	道路ネットワークを考慮したゾーン設定
	トリップチェインの生成	トリップの定義、属性項目整理、交通手段判別、高速道路利用判別 等
	トリップチェインの拡大	拡大処理、秘匿化処理対応 等
	トリップチェインボタン整理	月・日種変動、天候変動 等
交通影響予測 (基本機能)	車両台数換算・車種区分	トリップチェインを車OD(車種別)に換算
	道路ネットワークデータ整備	阪神高速道路及び関連道路が対象 (道路モデル構築) ※DRM対応付け
	交通流シミュレーション構築	交通流シミュレーション(SIM)機能構築 (車両移動モデル・経路選択モデル構築)
	予測精度検証	高速道路検証 一般道路検証 出口渋滞対応(交通流の二層化対応) 各種パラメータの補正 ※実績との関係を考慮
交通影響予測 (データ同化)	算出した車ODの精度検証	膨大なODボタンを用いた予測結果を予め大量に学習させておき、該当日の交通状況からODを逆推定し、人流から生成したODと比較検証
	ODの補正	当日観測される人出量に基づきODを補正
	予測結果の随時補正 (データ同化)	リアルタイムでの取得データに基づき交通量を補正して予測再計算(2時間程度度分)
	各種パラメータの補正	交通容量補正(交通障害検出)、k-vパラメータ・経路選択モデル・高速道路転換率式等を補正 ※即時対応と適宜対応の2種類を想定
行動変容提案	対象ユーザ抽出	対象渋滞選定、改善対象とする閾値の検討 対象渋滞の流入OD抽出、対象ユーザ抽出 (SIMとマネジメントサービスの連携機能構築)
	候補の施策ボタンOD生成	候補となる行動変容施策情報生成(経路情報) 行動変容率の設定 (候補施策と対象ユーザの特徴量を考慮) ※当初はアンケート等で設定、運用しながら更新 施策ボタン候補をトリップ群で表現 ※交通手段変更は旅行時間を別途算出 複数のサービスの施策ボタンを合算して対象のOD表を生成(施策ボタンOD)
	実行する施策ボタンOD選定 (実行OD) ※KPI評価	KPI設定(総旅行時間選定理由整理) 最高評価値の施策ボタンODの選定機能構築 ※必要に応じてサロゲートモデルを構築 (大量の入力・予測結果が必要)
	サービス連携	シミュレーション → 移動支援サービス 移動支援サービス → 各種コンテンツ
サービス連携	シミュレーション ⇄ 大規模会員サービス	SIMの道路NWと移動支援サービスのNWとの対応付け(DRMリンク仲介) ※地図連携 シミュレーション出力結果と移動支援サービスとのデータ連携 ※エンジン連携
	大規模会員サービス → 移動支援サービス	駐車場予約、決済連携、施設割引クーポン、企画商品 等 ※コンテンツ連携 シミュレーションと会員サービス(人のデジタルツイン)間で、流入OD、施策ボタンOD、実行ODを連携 会員サービス(人のデジタルツイン)のユーザが利用する移動支援サービスへ実行ODを連携

参考文献

- 1) 阪神高速道路(株): NTT と阪神高速, 都市の道路交通の整流化に貢献するデジタル技術を活用した新たな交通マネジメントの実装に向けた検討を共同で実施, ニュース・トピックス, <https://www.hanshin-exp.co.jp/company/topics/ntt.html>, (2023 年 11 月 1 日確認)
- 2) 阪神高速道路(株): 14 号松原線喜連瓜破付近の橋梁架替え工事に伴い, 2022 年 6 月 1 日 (水) 午前 4 時から 2025 年 3 月末 (予定) までの約 3 年間, 喜連瓜破～三宅 JCT 間で終日通行止めを実施, 報道発表資料, <https://www.hanshin-exp.co.jp/renewal/kireuriwari/pdf/press.pdf>, (2023 年 11 月 1 日確認)
- 3) 兒玉崇ら: 次世代の交通需要マネジメントのあり方に関する一考察, 第 67 回土木計画学研究発表会・春大会, 2023.
- 4) 西村拓哉ら: 状況に応じたリアルタイム交通管理のための交通デジタルツインの提案, 第 43 回交通工学研究発表会, 2023.
- 5) 兒玉崇ら: 渋滞緩和に資する行動変容訴求手法の検討, 第 68 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2023.