

都市間高速道路における休憩行動モデルのネットワーク交通流シミュレータへの実装

平井 章一¹・Jian XING²・堀口 良太³・甲斐 慎一郎⁴・宇野 伸宏⁵

¹正会員 中日本高速道路株式会社 (〒507-0052 岐阜県多治見市光ヶ丘5-28)

E-mail: s.hirai.aa@c-nexco.co.jp

²正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 (〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目4-1)

E-mail: xing@ri.nexco.co.jp

³正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-10)

E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp

⁴正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-10)

E-mail: kai@i-transportlab.jp

⁵正会員 京都大学教授 大学院工学研究科 (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: uno.nobuhiro.2v@kyoto-u.ac.jp

本研究は、都市間高速道路における休憩行動のモデル化、交通流シミュレーションへの実装および休憩施設を活用した交通関連施策の評価への適用を目指すものである。筆者らのこれまでの一連の研究では、ETCデータと車両感知器データに基づく総休憩時間モデル（マクロ休憩行動モデル）と、ETC2.0プローブデータに基づく休憩施設選択行動モデルと滞在時間モデルからなるマイクロ休憩行動モデルの構築を行っている。本稿では、マクロ休憩行動モデルとマイクロ休憩行動モデルのネットワークシミュレータへの実装及び、ケーススタディを行った。その結果、休憩施設の魅力を向上させた場合立寄率が向上したが、周辺施設への影響が小さいなど課題も確認した。

Key Words : Resting behavior modeling, service area, inte-urban expressway, traffic simulation

1. はじめに

東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)（以下「NEXCO中日本」という）、西日本高速道路(株)（以下、合わせて「NEXCO3社」という）ら高速道路管理者は、高速道路の休憩施設に関連した各種施策を実施している。一例として、駐車ます、お手洗い、営業施設など改良による魅力向上や、駐車場の混雑緩和を目的とした本線や休憩施設内における動的な情報提供などが挙げられる。また、本線の渋滞緩和を目的とした休憩施設への一時的な滞留による需要調整などの交通マネジメントもアイデアとしては考えられる。

これらの休憩施設を活用した交通関連施策を評価するためには、高速道路利用者が出発地のインターチェンジ（以下「IC」という）から流入し目的地のICを流出するまでの一連の高速道路トリップ行動（以下「交通行動」という）が施策の実施によりどのように変化するかを予測する必要がある。

筆者らはこれまで、先行研究として様々な交通データを活用した休憩行動の実態分析とその結果に基づくモデル構築を行っている。まず、利用率が90%に近いETCデータと車両感知器データを利用して、休憩施設での総休憩時間に着目した利用行動実態のマクロ的な分析を行い、総休憩時間が概ね120分超の長時間休憩に着目した総休憩時間推定モデル（以下「マクロ休憩行動モデル」という）の構築を行っている²⁾。これと並行して、個別車両の走行軌跡が追跡できるETC2.0プローブデータの走行履歴情報を活用した休憩行動データベース（以下「DB」という）の構築手法を検討し³⁾、構築したDBから、休憩施設選択行動モデルと滞在時間モデルからなる、マイクロ休憩行動モデルの構築を行っている⁴⁾。

一方で、NEXCO3社及び(株)高速道路総合技術研究所では、都市間高速道路ネットワークにおける様々な交通施策評価を行うことを目的とした交通シミュレーション（以下「ENS：高速道路ネットワークシミュレーション」という）を開発している⁵⁾。ENSはトリップ行動を

1 台毎に再現する仕様となっており、すでに実装されている交通状況に応じた経路選択行動モデルに加えて、休憩行動モデルを実装することにより、休憩施設に関連する各種施策の、路線単位、ネットワーク単位での事前評価への適用が可能となることが期待できる。

本研究では、ENSを休憩施設に関連する各種施策を評価するためのツールとして改良する手法を構築することを目的とする。具体的には、先行研究で構築したマクロ休憩行動モデルとマイクロ休憩行動モデルの概説を行ったのち、休憩行動モデルのENSへの実装の方向性を示し、東名高速道路（以下「東名」という）の休憩施設を対象としたケーススタディを通じた課題の整理を行う。

2. マクロ休憩行動モデルとマイクロ休憩行動モデルの概要

本研究の先行研究として実施した休憩行動分析とモデル構築は、主にNEXCO3社が保有するデータを基に、マクロ面とマイクロ面の両面からの取り組みを行っている。本章では、マクロ休憩行動モデルとマイクロ休憩行動モデルの概要を述べる。

(1) ETCデータ分析にもとづくマクロ休憩行動モデル

マクロ面での取り組みとして、2012年11月の1か月間の全国の都市間高速道路でのETCデータと感知器速度データからトリップの総休憩時間を推定し、それを実績値とみなして総休憩時間に着目した分析を行った。この趣旨は、利用率が9割近いETCデータを集計的に分析することで、信頼性の高い分析ができると考えたからである。

総休憩時間の算出方法は、図-1に示すとおり、ETCデータから算出した旅行時間から走行時間を差し引いて算出する。なお、ここでの走行時間は、流入IC間の最短距離経路を休憩をしないで走行したと仮定し、流入時刻から感知器勢力範囲をその時点での感知器速度で通過する時間を走行軌跡に沿って合計して求めた。これにより、渋滞による速度低下など実態により近い走行時間となっている。

分析の結果、総休憩時間120分超を長時間休憩の目安とし、200kmを超える距離帯にて長時間休憩が頻出する実態と、1時間程度の休憩（通常休憩）が昼食及び夕食時間帯に高速道路を通行する場合に頻出する実態を確認した。そのうち長時間休憩は、主に、深夜0時の深夜割引開始時間を待って高速道路から流出するために休憩施設で時間調整する「深夜割引時間調整」と、早朝6時頃をピークに業務開始時間を待って時間調整する「業務開始時間調整」の2種類の異なる行動が見られた。

分析結果を基に構築したマクロ休憩行動モデルは、総休憩時間分布が通常休憩と2種類の時間調整休憩がそれ

ぞれ異なる分布に従うとして、三峰の複合分布系を出発時間帯毎、距離帯毎に最尤推定し、各休憩行動の構成割合を推定したものである。図-2に推定結果の例を、図-3に大型車の休憩種別の構成割合（ α ：通常休憩、 β ：深夜割引時間調整休憩、 γ ：業務開始時間調整休憩）を示す。

しかしながら、この方法では立寄りの有無や個別の休憩時間など詳細な休憩行動を把握することができないことに留意が必要である。また、感知器による平均走行速

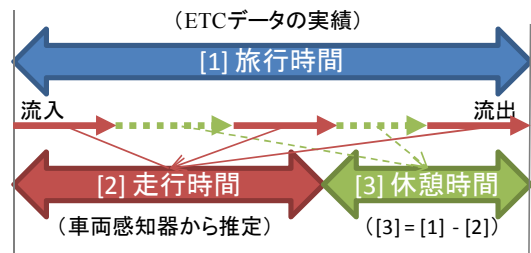


図-1 旅行時間と走行時間・休憩時間との関係

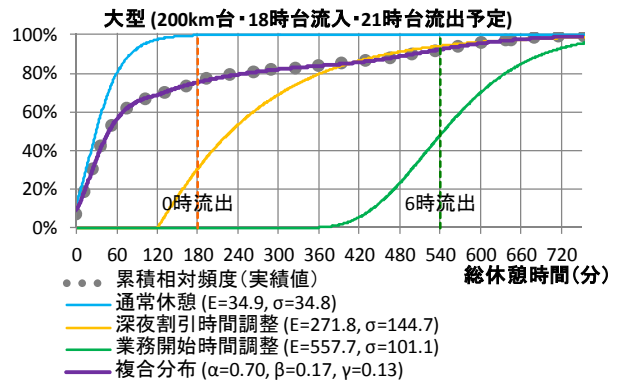


図-2 三峰分布による総休憩時間の推定例

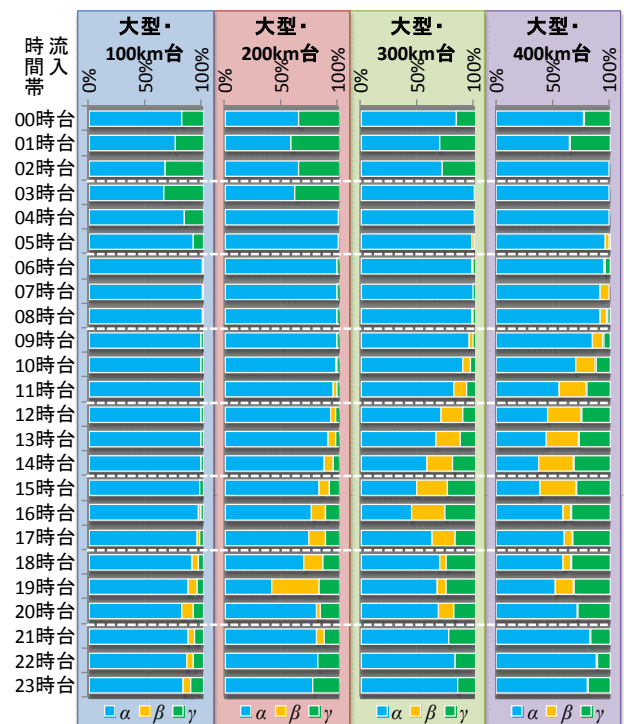


図-3 推定された休憩種別の構成割合 (大型車)

度と個別車両の走行速度が異なることで生じる誤差や、特に経路上に渋滞がある状況下で、途中の休憩場所や時間によっては、流入時を基準にした時空間走行軌跡と実際の走行軌跡が異なることで生じる誤差が存在する。特に時間の短い「通常休憩」では総休憩時間が負になる事例がみられるなど相対的にこの誤差の影響が大きく、推定した分布形が歪んでいることに対しても留意する必要がある。

(2) ETC2.0プローブデータ分析にもとづくマイクロ休憩行動モデル

マイクロ面での取り組みとして、近年データが蓄積されつつあるETC2.0プローブデータの走行履歴情報を活用し、個別車両の交通データの生成、休憩行動データベース(DB)の構築手法の検討、並びに2015年8月の2日間のデータから構築したDBを基に、休憩施設選択行動モデルと滞在時間推定モデルからなるマイクロ休憩行動モデルの構築を行った。

ETC2.0プローブデータに着目したのは、個人情報が入り込められた個車の位置情報が追跡でき、これを用いてトリップ行動中に到達する休憩施設への立寄有無や滞在時間を判定できるからである。さらに、NEXCO3社は道路管理者であることからデータの入手が容易であることが挙げられ、また、今後の普及により、搭載車の車種、地域などの広がりが期待でき、高速道路利用者の行動をある程度表すデータとなることが期待できる。ただし、分析対象時点では、普通乗用がほとんどを占めるなど車種構成に偏りがある、2日以上にわたる交通行動を追うことができず深夜の時間調整のための長時間休憩のデータが取得できない等、休憩行動を扱ううえでの課題や制限があることに留意が必要である。

先行研究では、ETC2.0プローブデータの特性から、小型車を対象としたモデルの構築を行った。モデル構築に先立ち、各車両が休憩施設に到達した時点での立寄有無と休憩時間に、走行時間や目的地ICまでの距離、休憩施設到達時までの休憩回数といったトリップ文脈情報を合

わせたDBを構築した³⁾。それに、別途全国のSA/PAの付帯施設の種類の主成分分析し、当該施設の特徴を示す施設属性情報とを突合させて、非集計分析により休憩施設選択行動モデルを推定した⁴⁾。推定結果を表-1に示すが、ICからの流入や前回の休憩からの連続走行時間、目的ICまでの残存距離、施設属性情報(当該施設と次の施設)、施設到達時間帯が有意な因子として抽出され、考慮する因子が少ないほどモデルの精度は相対的に高くなる結果となっている。また、立寄があった場合の滞在時間分布については、食事施設の有無と昼夜間、食事時間帯での違いがあることを示し、さらに、比較的休憩時間の短い分布と長い分布の2つの複合ガンマ分布で近似した滞在時間モデルを推定した。推定例を図-4に示す。

3. 休憩行動モデルのネットワークシミュレータへの実装

(1) ENSの概要

ENSでは、東京大学生産技術研究所の研究を基に開発・実用化された『広域道路交通シミュレーションシステム「SOUND」』⁶⁾(以下「SOUND」という)を基本エンジンとして使用し、モデルの一部について改良を行いカスタマイズしたものである。ENSは日本全国デジタル道路地図データベース(J-DRM)から作成した高速道路ネットワークを対象とし、利用率が90%近いETCデータを元に、断面交通量と整合するよう拡大・調整された車種別(小型・大型)の15分毎IC間OD表を入力データとしている。各車両は出発ICとジャンクション分岐

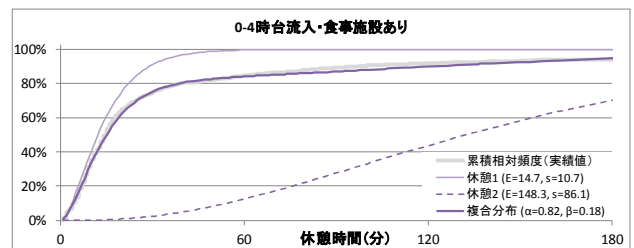


図-4 滞在時間モデルの推定例(食事施設あり・11~13時台)

表-1 休憩施設選択行動モデルのパラメータの推定結果

説明変数	モデル1		モデル2		モデル3		モデル4			
	時間帯○, 次施設○	時間帯×, 次施設×	時間帯○, 次施設○	時間帯×, 次施設×	時間帯○, 次施設×	時間帯×, 次施設×	時間帯×, 次施設×	時間帯×, 次施設×		
パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	
定数項	-2.895	-145.019	-3.048	-155.645	-1.582	-97.094	-2.925	-154.611		
連続走行時間(分)	0.0056	23.449	0.0076	32.491	-0.0126	-41.359	0.0078	34.319		
残存距離(km)	0.0016	15.962	0.0026	27.608	-0.0036	-30.258	0.0021	23.989		
主成分1	0.323	38.064	0.413	51.556	0.385	54.718	0.386	49.078		
主成分2	0.208	12.505	0.771	47.349	0.587	38.337	0.158	9.953		
主成分3	-0.085	-4.743	-0.516	-29.611	0.567	34.333	-0.026	-1.515		
次主成分1	-0.119	-14.484	0.023	3.680	-	-	-	-		
次主成分2	0.260	15.130	0.128	7.991	-	-	-	-		
次主成分3	-0.410	-18.612	-0.069	-3.092	-	-	-	-		
昼食ダミー	1.124	56.502	-	-	2.250	119.844	-	-		
最終尤度(初期尤度: -133,952)	-61,221		-61,895		-72,571		-59,868			
尤度比/自由度調整済み尤度比	0.543/0.543		0.538/0.538		0.458/0.458		0.553/0.553			

全体処理

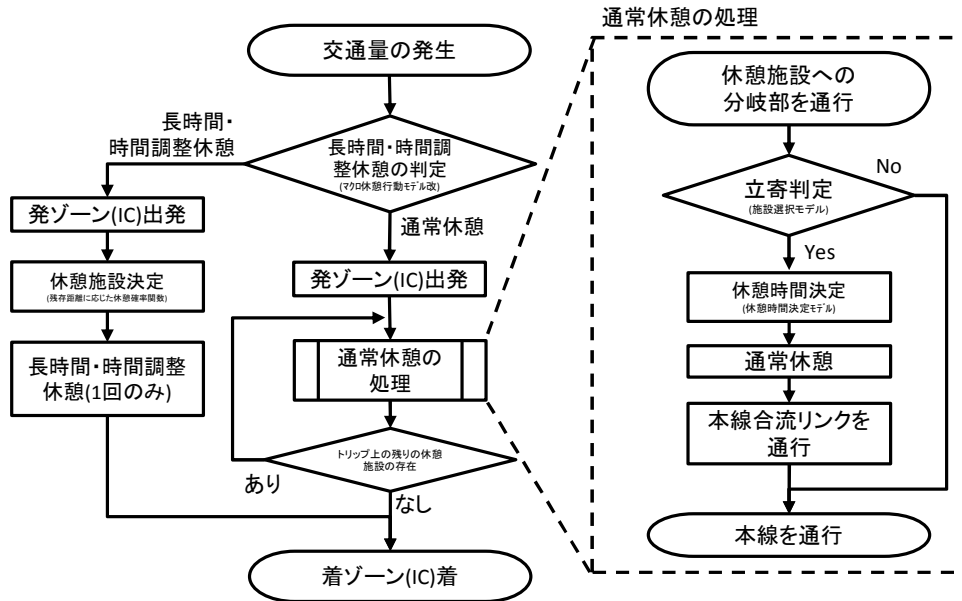


図-5 休憩行動モデルのENSでの実装フロー

部において、現在位置から目的ICまでの所要時間や渋滞長、通行料金等の要因を考慮した動的経路選択モデルに従って確率的に経路を選択する仕様になっている。

これまでのENSにも、高速道路上の休憩施設として、J-DRMで定義されている「SA等側道リンク」がネットワークデータに含まれている。しかしながら、休憩行動は実装されておらず、これらのリンクに対して、経路選択モデルにおけるダミーコストを設けて、通常の走行では選択されないようにしている。

(2) 休憩行動モデルのENSへの実装方針

長距離トリップの多い都市間高速道路では、休憩時間を含めたトリップ全体での旅行時間を考慮する必要があることや、前出の通り休憩施設の有効利用や、これらを活用した交通安全・円滑化施策を評価することへのニーズを受けて、先行研究で構築した休憩行動モデルを、図-5に示したフローでENSに実装する。以下にフローの内容を整理した。

- 長時間休憩行動に着目したマクロ休憩行動モデルは、車種および高速道路への流入時間帯と目的地までの走行距離帯で特性づけられていることから、シミュレータでは各車両の出発時に、長時間休憩するかどうかと、その場合の総休憩時間（≒希望流出時刻）を決めるために利用する。
- 通常休憩行動に着目したミクロ休憩行動モデルは、休憩施設に到達したタイミングで、トリップ文脈と施設属性情報を加味して立寄判定するために利用する。

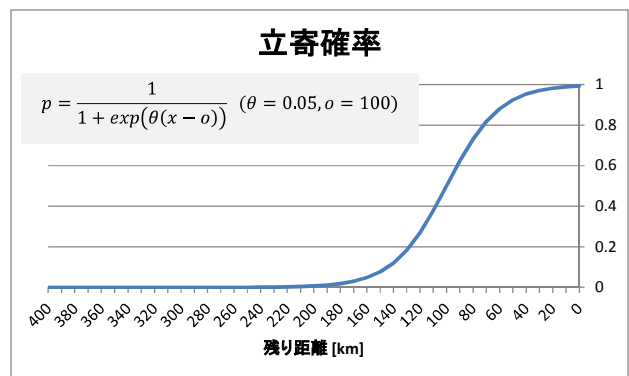


図-6 仮定した長時間休憩行動の立寄確率モデル

- ただし、出発時に長時間休憩をすると判定された車両は、通常休憩判定の対象とはしない。
- 長時間休憩をする車両については、マクロ休憩行動モデルでどの施設に立ち寄るかを決められないため、ここでは実際の流出時刻を希望流出時刻に合わせるために、できるだけ目的地 IC の近くで休憩するとして、図-6 のような、残存走行距離が短くなるにつれて立寄確率が高くなるモデルを仮定した。
- 各休憩施設への本線分岐部では、そこで立ち寄ると判定された車両についてのみ、本線から休憩施設に分岐するリンクを選択させる。
- 分岐先のリンク下流端に到着した車両は、一旦路外に待避し、所定の休憩時間経過後に、次のリンクに流入して、トリップを再開する。
- 当該施設の駐車台数が駐車マス数と同じになった場合は、満車であるとして、分岐先のリンク

下流端で車両を待機させる。

4. 現況再現とケーススタディ

(1) 現況再現の実施

実装した休憩行動モデルの再現性を確認するため、東名の休憩施設を対象としたケーススタディを行った。

シミュレーション実施日時は、新東名高速道路浜松いなさ JCT～豊田東 JCT 供用前の 2016 年 1 月の平日を対象とし、再現性の比較対象は、2012 年 11 月、12 月に NEXCO 中日本が調査した立寄率の観測値とした。

通常休憩の判定に使用する休憩施設選択行動モデルは、先行研究⁴⁾の結果を踏まえ、次の休憩施設の主成分を考慮しつつ、特定時間帯の立寄率が極端に高くないよう、表-1 に示したモデル 2 を使用した。

立寄率の比較結果を図-7 (海老名 SA 上り)、図-8 (中井 PA 上り) に示す。データの都合上、比較対象が同一条件ではないため正確な比較は難しいが、全体的な傾向として、シミュレーション結果の方が時間帯の違いによる立寄率の変化のが表れにくい結果となっている。これは、やはり時間帯の違いは立寄率への影響が大きいことを示しており、モデル 1, 3 で検討したようなダミー変数を用いて全時間帯で一括で推定するのではなく、時間帯別にモデルを構築することが望ましいものと考えられる。また、中井 PA の立寄率が観測値と比較して過大に算定されており、現況との乖離について分析を進める必要がある。

(2) ケーススタディの実施

ケーススタディでは、休憩車両の集中・混雑が見られ

る特定の SA 前後にある PA について、仮にそれら PA の付帯施設や駐車場規模を拡充させて魅力度を高めることで、集中が緩和されるかを評価した。

ここでは、海老名 SA (上り) の手前の中井 PA (上り) の付帯施設や駐車場規模のパラメータを、海老名 SA (上り) と同等に変更した場合、両休憩施設の立寄率に変化が見られるかを考察した。立寄率の算定結果を図-9 に示す。

現況再現ケースと比較すると、中井 PA (上り) の立寄率が 5 ポイント程度上昇しており、魅力度を向上させることで立寄率が上昇することが表されている。一方、中井 PA (上り) の下流側の海老名 SA (上り) の立寄率については大きな変化は見られない。

これは、現在の休憩行動モデルは、休憩施設選択における「取り合い」の表現が希薄であるため、魅力度を充実すればするほど立寄率が高くなってしまふことが原因である。この問題の解消にあたっては、1 トリップにおける総休憩回数や総休憩時間を予め固定してしまう方法が考えられるが、この場合、交通渋滞等による休憩回数の増加等が表現できなくなる恐れがある。

したがって、今後の休憩施設選択モデルの改良の方向性としては、IC からの流入時点とは別に、休憩時点からの連続走行時間や残存距離等を考慮したモデルを構築することが考えられる。

5. まとめと今後の課題

以上において、先行研究で構築した休憩行動モデルを ENS へ実装を行い、現況再現の確認と施設の魅力度を変化させた場合のケーススタディを実施した。ENS では個々の車両が休憩を行うことを確認した。また、施設の魅力をの向上を行った際に、当該施設の立寄率が向上することも確認した。ただし、時間帯別の立寄率の変化や、当該施設の魅力度を向上させた場合の前後の施設への影響が十分に表れていないなど課題も確認した。

今後は、時間帯別モデルの構築や、一度休憩した場合にその直近下流側の施設に立寄りしにくくするロジックの検討など、より現実の休憩行動に近いモデルへと精緻化を図る必要がある。

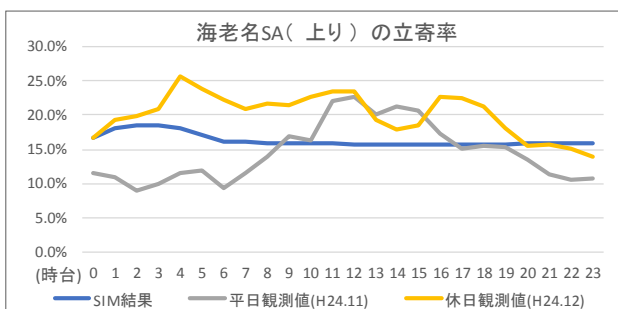


図-7 立寄率の比較 (海老名 SA 上り線)

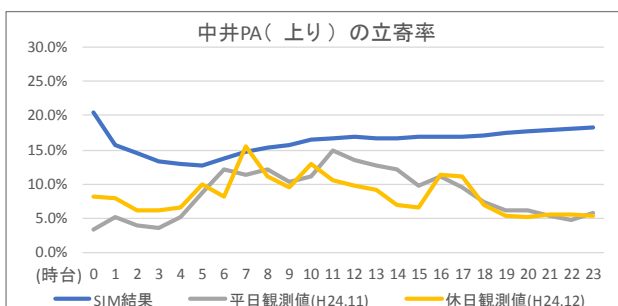


図-8 立寄率の比較 (中井 PA 上り線)

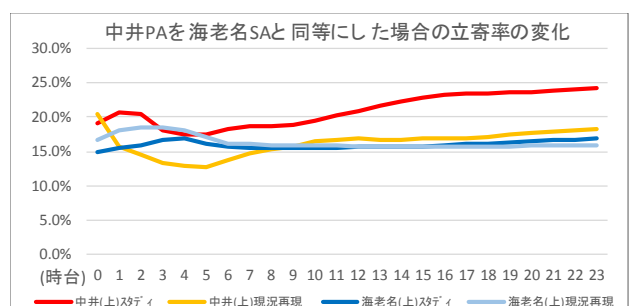


図-9 ケーススタディの結果

参考文献

- 1) 平井章一, Jian XING, 堀口良太, 宇野伸宏: ETC データに基づく都市間高速道路におけるマクロ休憩行動モデルの構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 5, p.I_661-I_671, 2016.
- 2) 平井章一, Jian XING, 堀口良太, 宇野伸宏: 都市間高速道路における長時間休憩に対応した総休憩時間推定モデルの構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No.5, 2017. (審査中)
- 3) 平井章一, Jian XING, 甲斐慎一郎, 堀口良太, 宇野伸宏: ETC2.0 プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動実態把握, 交通工学論文集, Vol.3, No.4 (特集号 A), pp.A_36-A_45, 2017.
- 4) 平井章一, Jian XING, 甲斐慎一郎, 堀口良太, 宇野伸宏: ETC2.0 プローブデータに基づく都市間高速道路の休憩施設選択行動モデルの構築, 第 37 回交通工学研究発表会論文集 (CD-ROM), 2017.
- 5) 平井章一, Jian Xing, 高橋亮介, 堀口良太, 白石智良, 小林正人: 都市間高速道路ネットワークを対象とした交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究・講演集, Vol.50, (CD-ROM), 2014.
- 6) 一般社団法人交通工学研究会: 交通シミュレーション活用のススメ, pp.172, 2012.

(???? ?? ?? 受付)

INCORPORATING RESTING BEHAVIOR MODEL INTO AN EXPRESSWAY NETWORK TRAFFIC SIMULATOR

Shoichi HIRAI, Jian XING, Ryota Horiguchi, Shin-ichiro KAI and Nobuhiro UNO

This study aims to incorporate the resting behavior model of inter-urban expressway users into a network expressway traffic simulator and to evaluate traffic operation schemes relating to rest areas with the integrated simulator. The authors have finished the construction of a macroscopic trip resting time modeling based on the ETC trip data and vehicular detector data, and of a microscopic resting behavior modeling comprising rest area choice model and resting time model based on the ETC2.0 probe data.

This paper describes the way of incorporating both the macroscopic and microscopic resting behavior models into the network expressway traffic simulator (ENS) developed by the NEXCO, followed by a case study of the application of the integrated prototype simulator in the Tomei Expressway and the Shin-Tomei Expressway. The result of the case study shows that it is possible to increase the number of vehicles taking a break at a rest area with few effect on neighbouring rest areas by improving the attractiveness of the commercial facilities of and increasing the parking lots of the rest area.