

ETC2.0 プローブデータに基づく都市間高速道路の休憩行動モデルの構築 Analysis on Resting Behavior of Inter-urban Expressway Users with ETC2.0 Probe Data

平井 章一¹, Jian XING², 甲斐 慎一郎³, 堀口 良太⁴, 宇野 伸宏⁵
Shoichi HIRAI¹, Jian XING², Shin-ichiro KAI³, Ryota HORIGUCHI⁴ and Nobuhiro UNO⁵

都市間高速道路を対象とした休憩行動モデルの構築を目的に, ETC2.0 プローブデータと休憩施設属性データを用いて, 高速道路トリップ中の休憩施設選択行動モデルと滞在時間モデルを構築するものである。まず休憩行動に影響すると想定される休憩施設規模や店舗種別の属性について主成分分析を行い, 3成分で特徴付けられることを示した。次に, 休憩施設到達時の行動を「通過/立寄」の2肢選択問題として, トリップ文脈情報と施設属性の特徴量を説明変数とした非集計ロジットモデルで尤度比の高い良好なパラメータを推定した。その際, 時間帯ダミーはモデル構造を歪めるなど, モデルの精度を低下させる要因を考察した。また, 滞在時間が食事施設有無と時間帯に影響されることを示し, それらを考慮した滞在時間モデルを複合ガンマ分布として構築した。

The objective of the paper is to construct rest area choice model and rest time model during a trip on inter-urban expressways by using ETC 2.0 probe data and attribute data of rest areas. First, principal component analysis is conducted with regard to the attributes of rest area size and shop types that are assumed to affect driver's resting behavior during their trips, and as a result, three components are selected to feature rest areas. Secondly, as a binomial choice problem of pass or drop-by when a driver comes to a rest area, the paper constructs several disaggregate logit models with independent variables of trip contextual information and three components of rest area attribute characteristic, and also estimates model parameters with high likelihood ratio. It is found with the identified models that time period dummy variable tends to distort the model structure and consequently reduces the model accuracy. Finally, a rest time model is formulated as a composite Gamma distribution of short rest time and long rest time in consideration of the existence of dining facilities and time period that may affect the rest time.

Keywords: 都市間高速道路, 休憩行動モデル, ETC2.0 プローブデータ, 休憩施設属性, 立寄確率
Inter-urban expressway, Resting behavioral model, ETC2.0 probe data, Rest area attribute, Drop-by probability

1. はじめに

東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株) (以下, 合わせて「NEXCO 3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, 駐車エリア, お手洗い, 営業施設などの改良による魅力度向上や, 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, 必要に応じて経路上の休憩施設に立ち寄り, 目的地のICを流出するまでの一連の高速道路における交通行動 (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

-
- 1 正会員, 中日本高速道路株式会社
Member, Central Nippon Expressway Co., Ltd.
〒507-0052 岐阜県多治見市光ヶ丘 5-28 e-mail: s.hirai.aa@c-nexco.co.jp Phone: 0572-23-3281
 - 2 正会員, 工学博士・TOE, 株式会社高速道路総合技術研究所
Member, Dr. Eng, TOE, Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.
 - 3 非会員, 修士(工学)・TOE, 株式会社アイ・トランスポート・ラボ
Non-member, ME, TOE, i-Transport Lab. Co., Ltd.
 - 4 正会員, 工学博士・TOE, 株式会社アイ・トランスポート・ラボ
Member, Dr. Eng, TOE, i-Transport Lab. Co., Ltd.
 - 5 正会員, 博士(工学), 京都大学大学院工学研究科
Member, Dr. Eng, Graduate School of Engineering, Kyoto University

測する必要がある。

しかし、交通行動のうち、「どの休憩施設を選択するか」という休憩施設選択行動と「休憩施設にどれくらい滞在するか」という休憩施設滞在行動から構成される休憩行動の実態に関する交通工学面での既往研究事例は、椎野ら¹⁾の休憩施設への立寄りに関する研究、松下ら²⁾の休憩施設選択行動に関する研究など限られた研究しか見受けられなかった。しかし、2014年以降、Nishii et al.³⁾、瀬谷ら⁴⁾、毛利ら⁵⁾、山田ら⁶⁾が休憩施設選択行動に関する研究成果を公表するなど研究事例は徐々に蓄積されつつあるが、休憩行動の実態は体系的には明らかにされていない。

一方で、NEXCO 3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⁷⁾。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、そのうち、交通状況に応じた経路選択行動モデルは実装しているが、休憩行動は考慮されていない。ENSに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。例えば、ボトルネック上流の休憩施設において、渋滞発生時に到達する車両を対象に滞在を促進する施策を行うことで、渋滞発生を遅らせ渋滞規模を小さくする効果を示すことができる。更に、実態により近い交通行動を再現することよりシミュレーションの精度向上も期待できる。

このため、本研究を含む一連の研究では、様々な交通データを活用した休憩行動の実態分析結果を基に、都市間高速道路における休憩行動のモデル化と、それを動的な交通シミュレーションに実装した施策評価ツールの構築を目指している。先行研究では、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、トリップ中の各休憩施設への立寄り時間と休憩時間を推定する休憩行動モデル構築の前段としての、休憩行動も含めた交通行動データベース(以下「DB」という)の構築手法の検討、並びに、休憩行動の基礎分析を行っている⁸⁾。本研究では、先行研究で構築したDBに基づき、休憩行動のうち、全国の都市間高速道路を対象とした休憩行動モデルを構築することを目的とする。まず、モデル構築に先立ち、既往研究で構築された休憩行動モデルの概要と先行研究で得られた知見を整理する。次に、休憩行動に影響を与えると想定される休憩施設の属性に関して、モデル化を見据えた分析を行う。そして、休憩施設到達時までの交通行動や施設属性などを説明変数とし、施設到達時の行動(通過/立寄)及び滞在時間を被説明変数としたそれぞれのモデルの推定、並びにモデルから

算出される指標から推定結果の考察を行う。

2. 休憩行動に関する研究事例

2.1 既往研究における休憩行動モデル

休憩行動の実態に関する既往研究のうち、松下ら²⁾、Nishii et al.³⁾、瀬谷ら⁴⁾、山田ら⁶⁾は休憩行動モデルの構築を行っている。以下に各モデルの概要を示す。

松下ら²⁾は、山陽自動車道(以下「山陽道」という)及び中国自動車道(以下「中国道」という)にてサービスエリア(以下「SA」という)/パーキングエリア(以下「PA」という)の利用者意識調査を実施し、その調査データをもとに、休憩施設選択モデル(選択有無の2項ロジットモデル)と休憩施設魅力度モデル(SA/PA主観的魅力度を説明する2重回帰モデル)を構築した。その結果、前者については、連続走行時間(分)の対数、SA/PA主観的魅力度、65歳以上人数(人)がそれぞれ5%水準で正に有意な変数であること、後者については、駐車場空車有無、トイレの清潔さ、レストラン有無、コンビニ有無、屋台有無等が5%水準で有意に正の影響を与えることを明らかにした。

Nishii et al.³⁾は、調査票とWEBの2種類の調査データを用いて、山陽道、中国道において、SA/PAの選択有無(2項)、SA/PA選択(多項)からなるネステッドロジットモデルを構築した。その結果、前者においてはSA/PAに関する認知の有無が重要な変数となり、IC入口からの距離は正ではなく負の影響となること、後者においては、ドライバーの満足度が有意に正の影響を持つことを示している。

瀬谷ら⁴⁾は、山陽道・中国道上を走行した1,600台の貨物車に搭載された6分間隔のデジタルタコグラフ(デジタコ)データに基づく、貨物車のSA/PA利用実態の把握のための、コンピュータを用いて柔軟な相関構造を考慮したType II トビット型の離散・連続モデルを用いて、休憩を行ったトリップを対象とした選択行動モデルと利用時間モデルを構築した。その結果、貨物車・トレーラー用の駐車場台数は、選択行動に1%水準で正の影響を与える一方で、利用時間には負の影響を与えるという結果を示している。また、過去の駐車経験の対数は、選択行動に対して1%水準で非常に強い正の影響をもち、特に経験が0(駐車経験なし)と1(駐車経験あり)では、影響に大きな差があることを明らかにした。

山田ら⁶⁾は、高松自動車道及び松山自動車道のSA/PAにおいて配布・郵送で回収したアンケート調査データに基づく休憩施設選択行動モデル(逐次的な選択を仮定した2項ロジットモデル)を構築した。その結果、長距離トリップは短距離トリップと比較して休憩しにくい、疲労の影響もあり一旦休憩してからの方が休憩施設に立寄

りやすい等の知見を示している。また、休憩施設属性に関しては、トイレの設置数や駐車台数等の影響は明らかにできなかったが、業務目的では店舗等の施設があれば施設属性の影響は小さく、業務以外ではレストラン等の施設が充実している SA に立ち寄りやすいなどの傾向を示している。さらに、構築したモデルを用いて現況再現性の検証と感度分析を行った結果、施設整備は当該施設の立寄率を純増させるだけであり、上下流の施設への影響は極めて小さいとのモデル上の問題点を明らかにした。

なお、これらの既往研究では休憩を行ったトリップのみを分析対象としているのに対し、先行研究⁸⁾で構築した DB には休憩をしないトリップも含まれており、より実態に近い交通行動データを分析対象にできる点が、既往研究と本研究で構築するモデルとの相違点の一つといえる。

2.2 先行研究での知見の整理

先行研究⁸⁾では、ETC2.0 プローブデータの走行履歴情報を活用し、個々の車両の休憩行動を含む DB の構築手法を検討し、2 日間のデータで全国の都市間高速を対象としたデータベースを生成している。これには、休憩を行ったトリップはもちろん、全体の 84% を占める休憩を行わなかったトリップも含まれている。そして、それを基に対象データの特性及び個別の休憩行動に対する実態把握を行っている。具体的には、一点目としては、データは小型車（特に普通乗用）に偏っている、日跨ぎの交通行動が再現できないなどの課題や制限があるという留意点を定量的に示している。二点目としては、モデル化の観点からの基礎分析の結果、1 回目休憩と 2 回目休憩は独立した分布とみなせる、SA/PA など施設属性の相違や時間帯により休憩行動が異なる可能性がある、などの知見を得ている。なお、ETC2.0 プローブデータに着目しているのは、NEXCO 3 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ている。また、今後の普及により、搭載車の車種・地域などの広がり期待でき、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期待されることから、この成果を活用し、より多量かつ多様なデータにより DB を更新することが可能となると言及している。

また、別のアプローチ⁹⁾として、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、休憩施設での総滞在時間に着目した利用行動実態のマクロ的な分析を行っている。ここでは、総休憩時間 120 分超を長時間休憩の目安とし、200km を超える距離帯で深夜割引適用や業務等開始時刻までの時間調整目的と想定される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可視化している。

2.3 休憩行動モデルの構築の方向性

本研究を含む一連の研究では、休憩施設選択行動モデルと滞在時間モデルの構築を目指す。うち、休憩施設選択行動モデルの被説明変数は、各々の休憩施設に到達した際の行動（通過／立寄）であり、滞在時間モデルの被説明変数は滞在時間である。

説明変数の候補としては、既往研究での知見を踏まえると、まず、IC から流入してからや休憩を行ってから、あるいは目的 IC に到達するまでの時間・距離に関する指標が考えられる。次に、休憩施設の規模や魅力度を示す店舗種別構成などの施設属性に関する指標が考えられる。そして、食事時間帯などの休憩施設に到達した時間帯や、上下流の休憩施設との関連なども候補として検討する必要がある。一方、本研究では個人属性と紐付けできない ETC2.0 プローブデータを基にしたモデル構築を行うこと、およびシミュレーションでの応用を想定することから、既往研究で見られた主観的な満足度や休憩目的、あるいは過去の駐車経験といった個人属性に関わる指標は説明変数の対象から除外する。

3. 休憩施設の施設属性に関する分析

高速道路の休憩施設においては、従来、PA では軽食や売店、SA ではそれに加えてレストラン、情報ターミナル（以下「HIT」という）やガソリンスタンド（以下「GS」という）などが設置されているが、特に NEXCO 3 社の発足後は、コンビニエンスストア（以下「コンビニ」という）や、カフェやベーカリーなどの各種専門店が設置されるなど多様化が進んでいる。ここでは、2.3 節を踏まえ、全国の高速道路の休憩施設を対象に、店舗種別構成などの施設属性に関して分析を行う。また、休憩施設規模との関連性などから、モデルの説明変数となりうる指標の候補を選定する。

3.1 分析対象

(1) 休憩施設数

対象とする休憩施設は、NEXCO 3 社が管理する全国の都市間高速道路に設置されている 741 箇所、うち、SA が 242 箇所、PA が 599 箇所である。

(2) 施設属性の調査

休憩施設ごとの店舗種別構成などの施設属性は、NEXCO 3 社や、運営している第三セクターなどのホームページから調べた。また、休憩施設に併設された道の駅などが機能を代替している休憩施設については、代替施設の店舗種別を当該休憩施設の店舗種別とみなした。

(3) 分析対象の施設属性

本研究で分析対象とする施設属性は、営業施設としてのレストラン、軽食・フードコート、カフェ、ベーカリー、売店・お土産、コンビニ、GS、並びに、情報提供施

設としてのコンシェルジェ， HIT とする。以降， これらを合わせて営業等施設と称する。また， 24 時間営業の有無と休憩施設規模の代表としての小型車駐車マス数にも着目する。

3.2 集計分析結果

(1)SA/PA 別集計

図 1 は， SA/PA 別の， 営業等施設の有無と 24 時間営業の有無を集計したものである。 営業用施設の有無に関しては， すべてにおいて， PA より SA のほうが施設有の割合が高くなっている。 特に， レストラン， 給油， コンシェルジェは PA が一桁台であるのに対し SA は 6 割以上と際立って差が見られる。 24 時間営業施設有の割合も同様の傾向が見られる。

図 2 は， SA/PA 別の， 休憩施設規模を表す小型車駐車マス数の構成割合である。 駐車マス数は 4 段階に分類している。 当然ながら PA より SA のほうが台数は多くなる傾向が見られるが， SA でも 29 台以下， あるいは， PA でも 120 台以上の施設も見られ， SA/PA と施設規模は完全に一致しているわけではない。

(2)小型車駐車マス数別集計

表 1 は， 小型車駐車マス数別の各営業等施設の有無と 24 時間営業の有無を集計したものである。 コンビニを除くいずれの施設も， 駐車マス数が多くなるほど施設有の割合が高くなっている。

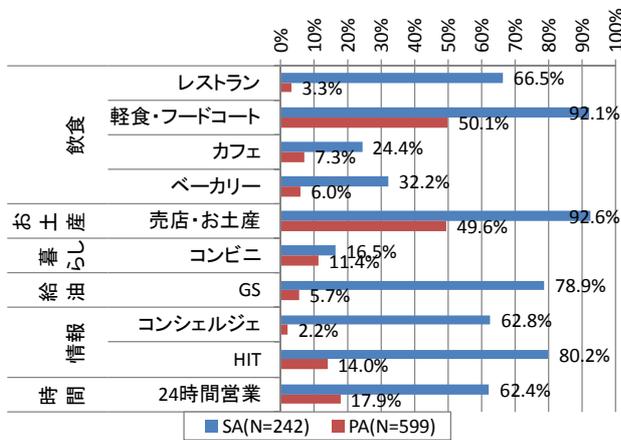


図 1 SA/PA 別各営業等施設有の割合

(3)営業等施設間の相関

表 2 に， 各営業等施設の有無， 24 時間営業の有無， 及び小型車駐車マス数の単相関を示す。 軽食・フードコートと売店・お土産との相関が非常に高い。 営業等施設のある休憩施設では通常， 両者がセットで設置されていることが多いことを示している。 また， コンシェルジェとレストラン， GS との相関が非常に高く， レストランと GS との相関も 0.7 に近くなっている。 これら 3 つの施設は主に SA に設置されている施設であることが要因と考えられる。 一方， コンビニは 24 時間営業以外の相関が低く， 売店・お土産との係数は負の値となっている。 これは， コンビニが売店・お土産の代替施設として設置されている場合が見受けられるなど， 他の営業等施設とは設置される位置づけが異なっていることを示していると考えられる。

小型車駐車マス数との関係では， コンビニ以外の営業等施設に相関が見られる。 これは， 休憩施設規模が大きくなるほど営業等施設が設置されやすく， また， その種類も多くなっていることが要因と考えられる。

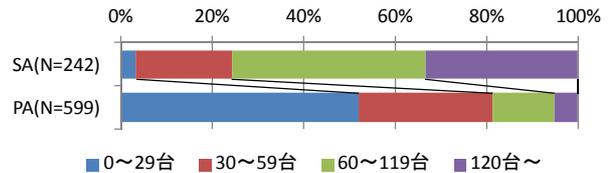


図 2 SA/PA 別小型車駐車マス数の構成割合

表 1 小型車駐車マス数別各営業等施設有の割合

	0~29台 (N=320)	30~59台 (N=226)	60~119台 (N=183)	120台~ (N=112)
レストラン	1%	4%	49%	71%
軽食・フードコート	22%	79%	91%	97%
カフェ	1%	2%	20%	52%
ベーカリー	1%	6%	25%	47%
売店・お土産	23%	73%	95%	96%
コンビニ	5%	18%	10%	30%
GS	0%	3%	40%	75%
コンシェルジェ	3%	15%	53%	77%
HIT	4%	24%	66%	81%
24時間営業	8%	23%	51%	79%

表 2 各営業等施設の有無， 24 時間営業の有無， 小型車駐車マス数間の相関

	レストラン	軽食・フードコート	カフェ	ベーカリー	売店・お土産	コンビニ	GS	コンシェルジェ	HIT	24時間営業	小型車駐車マス数
レストラン	1.000										
軽食・フードコート	0.355	1.000									
カフェ	0.360	0.284	1.000								
ベーカリー	0.367	0.266	0.382	1.000							
売店・お土産	0.404	0.879	0.285	0.289	1.000						
コンビニ	0.093	0.065	0.247	0.118	-0.102	1.000					
GS	0.683	0.427	0.315	0.420	0.435	0.057	1.000				
コンシェルジェ	0.739	0.373	0.418	0.408	0.387	0.061	0.730	1.000			
HIT	0.542	0.454	0.323	0.394	0.447	0.116	0.649	0.544	1.000		
24時間営業	0.486	0.333	0.373	0.369	0.245	0.515	0.483	0.522	0.448	1.000	
小型車駐車マス数	0.613	0.604	0.471	0.450	0.607	0.204	0.603	0.636	0.626	0.539	1.000

3.3 施設属性の主成分分析

(1)目的

本節では、施設属性に関して主成分分析を行う。これは、営業等施設間で相関の高いものも存在し、モデル構築にあたって多重共線性を防ぐために施設属性を総合的に表す指標が必要と考えられることから、次章で行うモデル構築の際に対象となる説明変数を簡潔に表現することを目的としている。

(2)分析対象の施設属性

分析対象とする施設属性は、3.1(3)項で示した営業等施設と同様である。24時間営業の有無に関しては本分析では対象外とし、次章のモデル構築の際に考慮することとする。休憩施設規模に関しては、各営業等施設の有無との相関が見られたことから、小型車駐車マスを対象とするものとし、小型車駐車マスの両者を比較し、休憩施設規模の扱いを定めることとする。

なお、点数は、営業等施設では施設無が0、施設有が1、小型車駐車マスの数は、図2と同様の階層で、駐車マスの少ないほうから0,1,2,3と点数付けをしている。

(3)結果

表3に、主成分分析の結果を示す。小型車駐車マスを含める、含めないともに主成分3までで累積寄与率が0.7を超えているため、主成分3までを対象とする。

結果の解釈に関しては、小型車駐車マスを含める、含めないともに同様の解釈が可能であった。

第1主成分に関しては、すべての営業等施設で施設有の場合に固有ベクトルが正で、小型車駐車マスの数は正の相関がみられる。従って、営業等施設の種別が多くなれば得点が高くなることから、「施設の充実度」(充実しているほうが正)とした。

第2主成分に関しては、固有ベクトルの絶対値は正ではコンビニが一番大きく、カフェ、ベーカリーが比較的大きめの値を示している。負では軽食・フードコートや売店・お土産が大きい。新たに設置が進んだ休憩施設従来の営業等施設有PAの代表的な施設との対立軸が見ら

れ、ここでは正の代表である「コンビニ有」(有が正)とした。

第3主成分に関しては、固有ベクトルの絶対値は正ではレストラン、GS、コンシェルジェが同程度の値を示しており、負では大きいほうからコンビニ、軽食・フードコート、カフェ、売店・お土産の順となっている。主にSAに設置されている営業等施設か否かでの対立軸となっており、「従来SA型」(SA特有施設有が正)とした。

(4)休憩施設規模の取り扱い

主成分分析の結果から、小型車駐車マスの数は主に第1主成分で説明できること、小型車駐車マスの有無の違いが結果にほとんど影響を与えていないことから、次章のモデル構築では、休憩施設規模を含めない結果を採用することとする。なお、施設規模に関しては、後続研究であるENSへの実装の際に施設毎の駐車台数をマスを上限として管理することで、需給バランスや施設の混雑状況が評価可能になると想定している。

4. 休憩施設選択行動モデルの構築

ここでは、休憩施設到達時までの交通行動や前章で分析した施設属性などを説明変数とし、施設到達時の行動(通過/立寄)を被説明変数としたモデルの推定を行う。

4.1 分析対象

分析の対象とするデータは、先行研究⁸⁾で、2015年8月1日(土)、2日(日)の2日間の全国のETC2.0プローブデータの走行履歴情報から生成したDBを使用する。因みに、当該時期での車種構成の偏りから小型車のみを対象としている。なお、次節で説明変数として使用する、ICから流入してから、あるいは休憩を行ってから連続走行時間(以下「連続走行時間」という)が極端に長く、かつ、その間の平均旅行速度が低いデータについては、データの欠落等により休憩行動が生成できなかった可能性などが考えられるため、連続走行時間180分超かつ平均旅行速度40km/h未満のデータを持つトリップは除外

表3 主成分分析の結果

	駐車場規模を含める			駐車場規模を含めない			
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分1	主成分2	主成分3	
標準偏差	2.216	1.133	1.027	2.053	1.133	1.018	
寄与率	0.491	0.129	0.105	0.468	0.143	0.115	
累積寄与率	0.491	0.620	0.725	0.468	0.611	0.726	
固有ベクトル	レストラン	0.353	0.148	0.313	0.385	0.148	0.294
	軽食・フードコート	0.316	-0.471	-0.373	0.338	-0.471	-0.400
	カフェ	0.252	0.301	-0.324	0.271	0.301	-0.355
	ベーカリー	0.262	0.219	-0.035	0.286	0.219	-0.069
	売店・お土産	0.320	-0.536	-0.244	0.343	-0.536	-0.271
	コンビニ	0.071	0.546	-0.599	0.067	0.546	-0.602
	GS	0.366	0.075	0.325	0.404	0.075	0.298
	コンシェルジェ	0.363	0.161	0.323	0.397	0.160	0.303
	HIT	0.345	0.031	0.101	0.374	0.031	0.081
	小型車駐車マス数	0.389	-0.001	-0.135			
解釈	施設の充実度	コンビニ有	従来SA型	施設の充実度	コンビニ有	従来SA型	

している。このような再精査を行った結果として、対象のトリップは 65,025 トリップ、休憩施設到達時の行動は 193,252 サンプル、うち立寄りが 19,120 サンプルで平均立寄率（観測値）は 9.9% である。時間帯別のサンプル数を図 3 に示す。

4.2 モデルの構造

本研究で構築する休憩施設選択モデルは、既往研究の例に倣い、休憩施設到達時の選択行動を「通過」、「立寄」を選択肢とした 2 肢選択問題と捉え、非集計ロジットモデルにより定式化する。なお、施設選択時に一連の交通行動における選択可能な休憩施設を考慮するモデルの構築も考えられるが、本研究ではモデルの ENS への実装の前端として、モデルの特性を把握することも一つの目的と考え、比較的単純なモデル構造とした。実装時に顕在化した場合には、その段階でモデルの精緻化、構造の見直しを図っていくこととしたい。

4.3 説明変数の設定

ここでは、2.3 節での整理を踏まえて、説明変数を設定する。まず、走行を行った履歴として、連続走行時間を採用することとした。これは、走行時間は走行履歴としての指標であることに加え、実際に巻き込まれた渋滞の影響も加味していると考えられるからである。この変数は、パラメータの符号が正の場合、連続走行時間が長いと休憩施設に立ち寄りやすいという仮説が成り立つといえる。次に、目的 IC までの走行予定情報として、目的 IC までの残存距離（以下「残存距離」という）を採用することとした。これは、シミュレーションへの応用を想定したとき、将来の走行時間は施設到達時点では未知の情報であるため、距離の指標とした。

施設属性に関する説明変数は、前章で算出した主成分分析の結果（休憩施設規模を含めない）の主成分 1 から 3 までのスコアを採用することとした。このうち、主成分 1 に関しては、パラメータの符号が正の場合は営業等施設が充実している休憩施設に立寄りやすいという仮説が成り立つといえる。因みに、休憩施設ごとのパラメー

タは昼夜別に用意し、表 3 の灰色で着色した営業等施設に関しては昼間が 1、夜間が 0 とし、水色で着色した営業等施設は 24 時間営業のみ昼夜ともに 1 としている。なお、休憩施設規模に関する指標については、主成分 1 で説明ができること、ENS への実装の際に休憩施設の容量として与えることができることから、説明変数としては考慮しないこととした。

2.3 節で候補として検討する必要があるとした、休憩施設に到達した時間帯や、上下流の休憩施設との関連については、それぞれの有無別でモデルを構築し、結果を考察することにより最適モデルを選定することとする。なお、時間帯に関する変数として、今回は、11~13 時台を対象とした昼食ダミーを代表例として示す。この変数は、パラメータの符号が正の場合立寄りやすいことを示している。また、上下流の休憩施設との関連に関する指標としては、休憩施設到達時に選択する際の代替案として次の休憩施設が考えられるため、次の休憩施設の主成分（以下「次主成分」という）の主成分 1 から 3 までのスコアを採用することとした。このうち、次主成分 1 は、符号が負の場合に当該休憩施設がより充実していることを示していることから立ち寄りやすいという仮説が成り立つといえる。

4.4 パラメータの推定結果

表 4 に、パラメータの推定結果を示す。モデル 1 は、時間帯、次の休憩施設の両方を考慮したモデル、モデル 2 は次の休憩施設のみを考慮、モデル 3 は時間帯のみを考慮、モデル 4 は、時間帯、次の休憩施設ともに考慮しないモデルである。

全てのモデルで自由度調整済み尤度比は基準である 0.2 を超えており、モデルの説明力という観点からは良好なモデルであるといえる。また、t 値の絶対値もモデル 4 の一つを除き 1.96 を超えており、パラメータの安定性についても問題はないと考えられる。

個々のパラメータの符号条件を確認すると、モデル 3 における連続走行時間が負になっており、仮説と相反する結果となっている。また、モデル 2 における次主成分 1 が正になっており、次の休憩施設が充実しているため当該施設を選択することとなり仮説と相反している。

なお、最適モデルの選定は、次節の立寄率による考察結果も考慮して選定することとする。

4.5 立寄率によるモデルの考察

ここでは、前章で構築したモデルについて、DB での施設到達時のデータをモデルに入力して算出した立寄率（推定値）と平均立寄率（観測値）を指標として考察を行う。

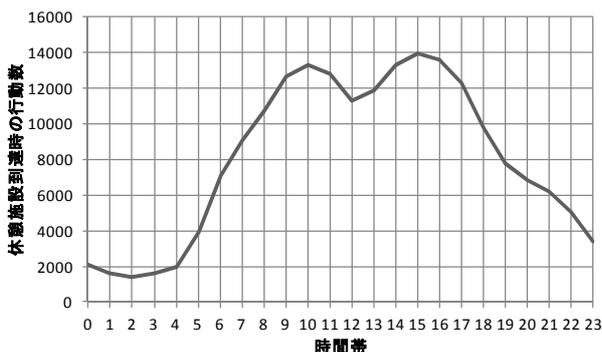


図 3 時間帯別サンプル数

表4 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×	パラメータ	t値	時間帯×, 次施設×	パラメータ	t値	時間帯○, 次施設×	パラメータ	t値
定数項		-2.895	-145.019		-3.048	-155.645		-1.582	-97.094
連続走行時間(分)		0.0056	23.449		0.0076	32.491		-0.0126	-41.359
残存距離(km)		0.0016	15.962		0.0026	27.608		-0.0036	-30.258
主成分1(施設の充実度)		0.323	38.064		0.413	51.556		0.385	54.718
主成分2(コンビニ有)		0.208	12.505		0.771	47.349		0.587	38.337
主成分3(従来SA型)		-0.085	-4.743		-0.516	-29.611		0.567	34.333
次主成分1(施設の充実度)		-0.119	-14.484		0.023	3.680		-	-
次主成分2(コンビニ有)		0.260	15.130		0.128	7.991		-	-
次主成分3(従来SA型)		-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	
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	

(1) 休憩施設到達時の行動別立寄確率

図4に、通過、立寄と観測されたそれぞれの行動を母集団として算出した立寄確率分布(推定値)を箱ひげ図で示す。パーセンタイル値などの指標を比較した場合、その差分が大きいくほど通過と立寄との乖離が大きいことから、それらをより明確に区分できているモデルであると考えられる。第二四分位数で見ると、通過と立寄との差分の絶対値は大きいほうから順にモデル4, 1, 2, 3の順になっており、これは、表4で示した自由度調整済み尤度比の高いほうからの順序と一致している。また、立寄確率の大きい側の外れ値はいずれのモデルにも存在はするが、バラツキを示す指標の一つと考えられる外れ値の割合の低さも、自由度調整済み尤度比の高いほうからの順序と概ね一致している。

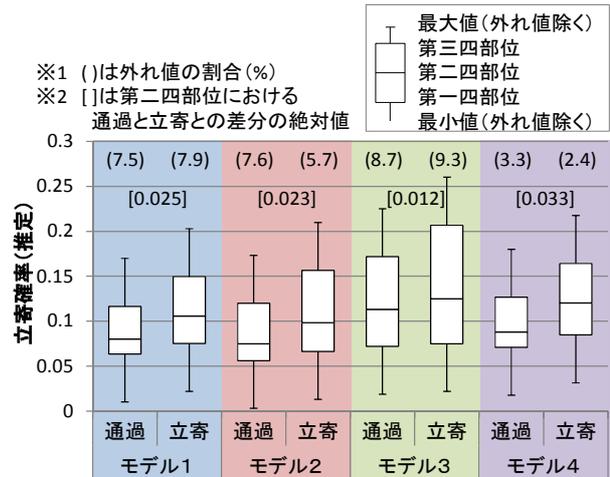


図4 施設到達時の行動別立寄確率分布(推定)

(2) 時間帯別平均立寄確率

図5に、各モデルの時間帯別の立寄確率(推定値)の平均値(以下「平均立寄確率」という)を示す。図中の黒点線は、平均立寄率(観測値)である。まず、昼食ダミーを設定しているモデル1とモデル3については、ダミーを設定している時間帯のうち、11時台と12時台で立寄確率が突出している。この結果、当該時間帯の立寄確率が大きくなった分、他の時間帯の立寄確率が観測値より小さくなってしまっている。これは、図3に示した通り昼間時間帯のサンプル数が大多数を占め、その影響を受けているのが一因と考えられる。このことから、時間帯(昼食)ダミーの設定はモデルの構造を歪めることに繋がり適切ではないと考えられる。

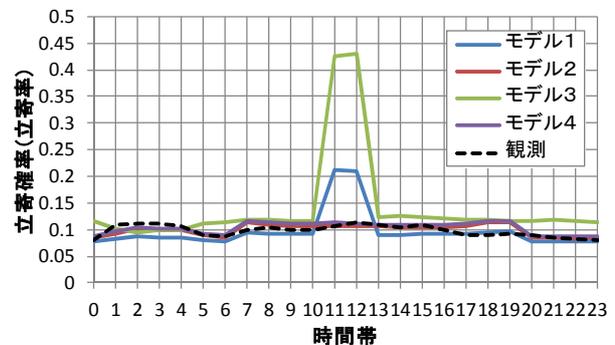


図5 時間帯別平均立寄確率

次に、昼食ダミーを設定していないモデル2とモデル4は、昼間時間帯のピークや夕方時間帯などで観測値との乖離が若干見られるものの、モデル間での形状に大きな違いが無い。なお、立寄確率が20時台で低下し7時台で上昇しているのは、営業等施設の営業時間を考慮した説明変数を設定していることが要因と考えられる。

(3) 休憩施設別平均立寄確率

図6は、モデル2(上段)とモデル4(下段)を対象に、休憩施設毎の平均立寄率(観測値)と平均立寄確率

(推定値)との関係を示したものである。青色は、平均立寄率を正解と仮定した場合の平均立寄確率との残差の二乗が大きい上位10%を示しており、黄色は残りの90%(下位90%)を示している。実線は下位90%を対象に原点を切片として直線近似をしたものである。この図から、モデル2よりモデル4のほうが相関係数も高く、近似直線の傾きも1に近くなっていることが分かり、尤度比からの結果と同様、モデルとしてはモデル4のほうがより良好なものとなっていることがいえる。

モデル4を対象に、上位10%の休憩施設の特徴を考察する。図6下段からは、平均立寄率の高い休憩施設(立

寄率 100%も含む)の立寄確率が低めに推定され、バラツキを生じさせている要因であることが分かる。図7は、休憩施設を上位10%と下位90%に分類し、施設属性及びサンプル数との関係を示したものである。休憩施設規模が中程度のSAという傾向が見られる。また、休憩施設到達時の行動数(サンプル数)が少ないほど残差が大きくなる傾向であるため、分析対象期間を増やすなどサンプル数を確保することでバラツキが軽減される可能性があると考えられる。

5. 休憩施設滞在時間モデルの構築

5.1 概要

既往研究でのETCデータを用いた総休憩時間の分析では、割引時間調整や業務開始時間調整のための、夜間で数時間に及ぶ長時間休憩の割合が無視できない程度存在し、飲食やトイレなどを目的とした通常休憩と、これ

ら時間調整による長時間休憩の最大三峰の複合分布でよく近似されることが示されている¹⁰⁾。しかしながら、このETCデータからは休憩場所や休憩回数が判別できず、休憩行動のモデル化には十分ではない。また、感知器速度データからある仮定をもって求めた走行時間を、ETCデータからわかる旅行時間の観測値から差し引いて総休憩時間を求めており、これには誤差が含まれているため、特に短時間の休憩時間については、データ信頼性が十分ではない課題が指摘されていた。

本研究で使用しているETC2.0プローブデータから構築したDBでは、短時間の休憩も含む個車の休憩施設滞在時間も判別が可能である。そこで、本章では、休憩施設滞在時間の特性の把握、並びに、ENSへの実装を視野に、個車の休憩施設滞在時間のデータから休憩施設滞在時間の分布をある分布形への近似による滞在時間モデルの構築を行う。なお、対象は小型車のみ19,120サンプルである。

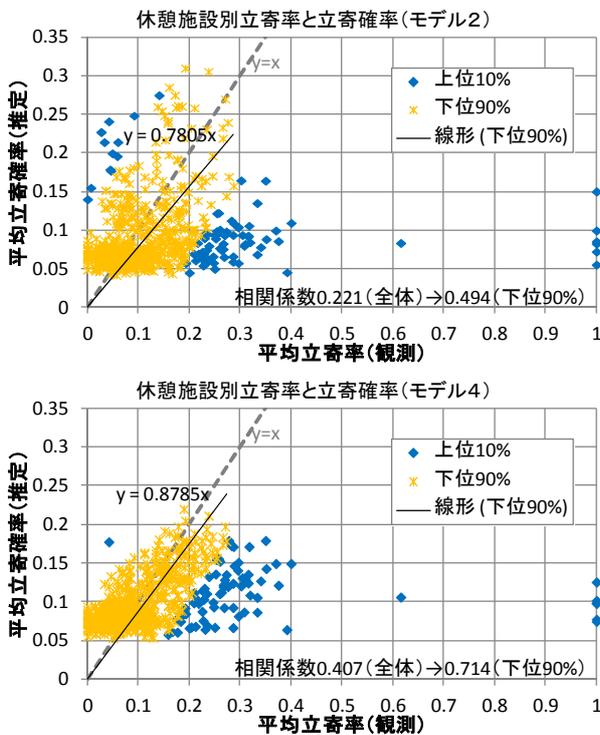


図6 休憩施設別平均立寄率と平均立寄確率との関係 (上段: モデル2, 下段, モデル4)

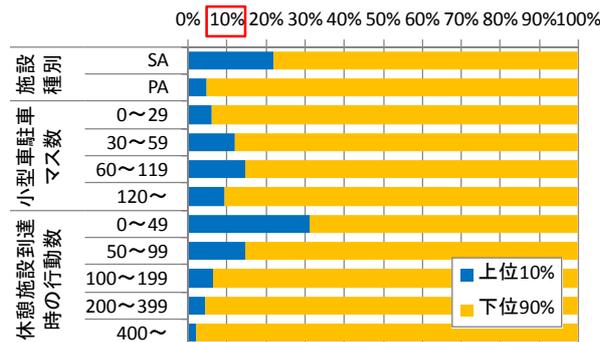


図7 残差上位10%の休憩施設の特徴(モデル4)

5.2 滞在時間累積相対頻度分布形状の確認

先行研究⁸⁾では、休憩施設滞在時間に影響を与える要因として、昼食時や深夜などの時間帯、並びにSA/PAの違いが滞在時間分布に影響を与えていることが示唆されている。一方で、休憩施設選択行動モデルの説明変数として検討した走行距離や時間、あるいは施設属性の主成分との相関を確認したが、相関は見られなかった。そこで、本研究では、施設属性のうち食事施設の有無、及び施設到達時の時間帯に着目し、滞在時間累積相対頻度分布形状の差異について確認した。その結果を図8に示す。ここでは、時間帯については、日跨ぎのトリップのデータの取得が期待できないこともあり、深夜時間帯として0~4時台、昼食時間帯として11~13時台、そして、前述以外(以下「通常時間帯」という)の3分類とした。その結果、時間帯及び食事施設の有無により分布形状が異なることを確認した。

5.3 滞在時間モデルの推定

前節で確認した滞在時間累積相対頻度分布のうち、食事施設のない施設(以下「食事なし施設」という)の深

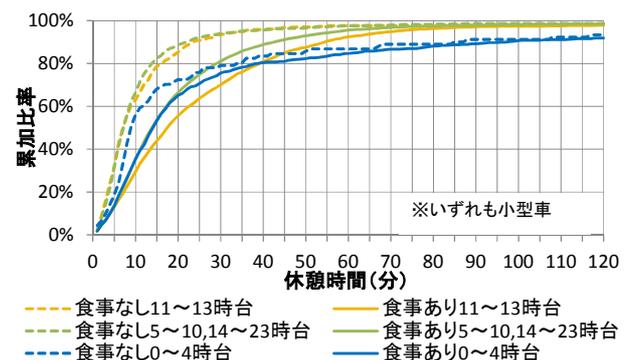


図8 滞在時間累加分布

夜時間帯を除く時間帯では差異がみられなかったことから深夜時間帯とそれ以外(この場合も「通常時間帯」と呼ぶ)の2分類, 食事施設のある施設(以下「食事あり施設」という)は前節と同様の3分類で分布形状の近似により滞在時間モデルの推定を行った。手始めに, これらの分布を単一のガンマ分布で近似してみたところ, 一部の長時間休憩と想定されるサンプルにより生じたロングテールに引っ張られ, 短時間休憩のピークが良好に再現されない結果となった。

このため, 短時間休憩と長時間休憩の二峰の分布と仮定し, 式(1)で示す複合ガンマ分布で近似することによりモデルの推定を行った。近似の方法は, 既往研究¹⁰⁾と同様に, 組み合わせ毎に個車の休憩時間 x_i を用いて複合分布の確率密度対数 $\ln(R_{d,t}(x_i))$ の総和を求め, これを最大化するパラメータを Microsoft Excel のソルバー (GRG 非線形, 停止条件の精度 1.0E-05 未満, 最大時間 5 分) で求めた。

$$R_{d,t}(x) = \alpha_{d,t} F_1(x; k_1, \theta_1, o_1) + \beta_{d,t} F_2(x; k_2, \theta_2, o_2) \quad (1)$$

ここで,

- $R_{d,t}$: 休憩時間の累積確率密度分布
- d, t : 食事施設の有無, 流入時間帯
- $F_1(x; k_1, \theta_1, o_1)$: 短時間休憩の累積確率密度分布
- $F_2(x; k_2, \theta_2, o_2)$: 長時間休憩の累積確率密度分布
- $\alpha_{d,t} \in [0, 1]$: 短時間休憩分布に従う割合
- $\beta_{d,t} \in [0, 1]$: 長時間休憩分布に従う割合
- (ただし, $\alpha_{d,t} + \beta_{d,t} = 1$)

である。なお, ガンマ分布の累積分布関数は, 形状パラメータ k , 尺度パラメータ θ とオフセット o を用いて, 式(2)で表される。

$$F_i(x; k_i, \theta_i, o_i) = \frac{\gamma(k_i, (x - o_i) / \theta_i)}{\Gamma(k_i)} \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

推定結果の例を図 9 に示す。すべての組み合わせで, 概ね良好な結果が得られた。

5.4 モデルの指標による滞在時間分布の考察

本節では, モデルの推定結果のアウトプットである, 各休憩種別の構成割合, 並びに, パラメータから算出される指標である休憩種別毎の期待値と標準偏差により滞在時間の特徴について考察を行う。表 5 に, それぞれの分布における長時間休憩の割合と短時間休憩分布, 長時間休憩分布各々の期待値 (E) と標準偏差 (σ) を示す。

(1) 長時間休憩の割合

本研究で使用している DB では日跨ぎの行動が再現されていないため実態を完全に再現していない可能性が考えられるが, 深夜時間帯では2割から3割程度の長時間休憩の車両が存在することが確認できる。一方, それ以

外の時間帯では数%程度と少数ではあるが, 通常短時間休憩とは異なる行動を行っている車両が存在していることが確認できた。全般に食事なし施設で割合が高いのは, 時間調整休憩をする小型車は立寄りの少ない食事なし施設を選択しやすいと推察され, また, 推測ではあるが, 例えばゴルフなどで休憩施設を駐車場代わりにして乗合で行動する場合に, 立寄りが少ない食事なし施設を選択するような行動が影響しているとも考えられる。

(2) 短時間休憩の期待値と標準偏差

期待値と標準偏差による考察は, 前述のとおり長時間休憩は実態を完全に再現していない可能性が考えられるため, 短時間休憩のみの考察とする。

食事なし施設に関しては, 深夜時間帯と通常時間帯で期待値, 標準偏差ともほぼ同様の値となっている。これは, 時間調整などの長時間休憩を除くと, 休憩施設への立寄り目的がトイレや短時間の休憩など時間帯に関係なく同様なものとなっていると想定される。

一方, 食事あり施設では, 期待値の短いほうから深夜時間帯, 通常時間帯, 昼食時間帯の順になっている。深夜時間帯では食事あり施設でも一部の施設では営業等施設が閉店しているなど立寄り目的が他の時間帯と比較して限られている。昼食時間帯は通常時間帯の立寄り目的に加え食事という行動が短時間に集中していることが期待値が長くなっている要因と考えられる。標準偏差でも同様の傾向が見られる。

6. まとめと今後の課題

本研究では, 全国の都市間高速道路を対象とした休憩行動モデルを構築することを目的に, 休憩行動に影響を

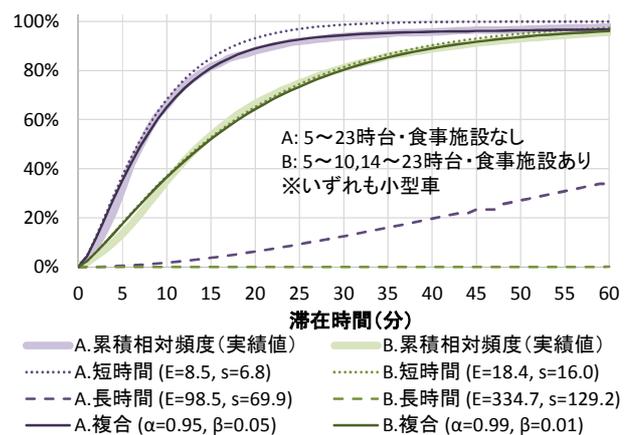


図 9 複合ガンマ分布を用いた推定結果

表 5 複合分布の指標

時間帯	食事施設	長時間休憩の割合 (β)	短時間休憩		長時間休憩	
			E	σ	E	σ
0~4	無	0.27	8.9	5.7	77.5	62.2
5~23	無	0.05	8.5	6.8	98.5	69.9
0~4	有	0.18	14.7	10.7	148.3	86.1
11~13	有	0.02	22.9	21.1	321.8	126.7
5~10,14~23	有	0.01	18.4	16.0	334.7	129.2

※ E, σ の単位は(分)

与えると想定される休憩施設の属性の分析, 休憩施設到達時までの交通行動や施設属性などを説明変数とし, 施設到達時の行動(通過/立寄)と滞在時間を被説明変数としたそれぞれのモデルの推定, 並びにモデルから算出される指標からの推定結果の考察を行った。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- ・ 休憩施設属性のうち, 営業等施設の有無に関しては, 軽食・フードコートと売店・お土産間, レストラン, コンシェルジェ, GS間に強い相関が見られた一方で, コンビニと他施設との間では相関は見られなかった。
- ・ 営業等施設の有無と休憩施設規模とに相関が見られ, 結果として営業等施設の有無に関する主成分分析では休憩施設規模考慮の有無での傾向は変わらなかった。
- ・ 休憩施設選択行動モデルに関して, 時間帯, 次の休憩施設の考慮の有無を比較対象とした2肢選択の非集計ロジットモデルによるパラメータの推定結果は, 時間帯, 次の休憩施設両者とも考慮しないモデルが最適となった。また, 時間帯別サンプル数の偏りから, 時間帯ダミーはモデルの構造を歪める結果となった。
- ・ 休憩施設選択行動モデルの精度を悪化させる要因としては, 中程度規模のSAで立寄率が高く観測された場合, あるいは, 休憩施設単位でのサンプル数が少ない場合が挙げられる。
- ・ 休憩施設滞在時間については, 長時間休憩を除くと, 食事なしの施設では滞在時間分布に差異はなく, 食事ありの施設では施設の営業の有無に加え, 昼食という行動が滞在時間を長くする要因と考えられる。

今後は, ENSへの実装に向けて, 精度向上のために対象サンプルを増やす必要がある。また, 本研究での対象サンプルが休日の小型車のみであったことから平日や大型車を対象としたモデルの構築や, 時間帯別の相違をより明確に表現するための時間帯別モデルの構築を行うことを検討する必要がある。合わせて, 休憩行動モデルのENSへの実装を通じて, モデルの精緻化, 改善を図る必要がある。

なお, 本研究の成果により, 第1章で述べた施策のうち, 営業施設等の改良に伴う魅力度向上の施策評価が可能となる。また, 後続研究であるENSへの実装の際には, 駐車エリアの改良の評価や, 休憩施設を活用した需要調整などの施策評価が可能となり, 政策的な提言に繋がるものと想定している。ただし, 本研究でのモデルは本線渋滞情報や休憩施設混雑情報などの動的な情報は考慮さ

れていないため, これらの情報に関連する施策評価への適用は, 前段の行動分析も含めて今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 椎野修, 日比野直彦, 森地茂: 高速道路休憩施設の立寄り特性と混雑対策, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, (CD-ROM), 2011
- 2) 松下剛, 熊谷孝司, 野中康弘, 石田貴志: 高速道路の休憩施設選択要因に関する基礎分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, (CD-ROM), 2011
- 3) Nishii, K., Sasaki, K., Tanabe, J., and Yoshihara, S.: An empirical model of expressway drivers behaviors on stopover at SA/PA involving the location choice, In ERSA conference papers (No. ersa14p399), presented at the 54th ERSA Congress, Saint Petersburg, 26–29, August, 2014
- 4) 瀬谷創, 張峻屹, 力石真, 藤原章正, 向江達彦: デジタルタコグラフデータを用いた高速道路における貨物車のSA/PA選択行動の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, (CD-ROM), 2015
- 5) 毛利雄一, 岡英紀, 野中康弘, 木村敦史: 商用車プローブデータを活用したPA利用車両の交通行動分析, 第35回交通工学研究発表会論文集(CD-ROM), 2015
- 6) 山田隆広, 倉内慎也, 吉井稔雄, 永井基博: アンケート調査データに基づく松山自動車道利用者の休憩施設選択行動の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, (CD-ROM), 2015
- 7) 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
- 8) 平井章一, Jian XING, 甲斐慎一朗, 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), p.A_36-A_45, 2017
- 9) 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
- 10) 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(掲載決定)