

都市間高速道路における長時間休憩に対応したマクロ休憩行動モデルの構築

平井 章一¹・Jian XING²・堀口 良太³・宇野 伸宏⁴

¹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:s.hirai.aa@ri.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 京都大学経営管理大学院 (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp.

休憩施設改良による魅力度向上, 休憩施設混雑情報の提供など休憩施設を活用した交通関連施策の評価のためには, 高速道路利用者の行動変容を分析する必要があるが, そのうち, 休憩行動の研究事例は少なく, 実態は明らかではない. 本研究では, 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, 及び, 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している. もし, 高速道路利用者の休憩行動がモデル化できれば, これを交通シミュレーションに実装し, 高速道路上での情報提供等により, 早めの休憩取得を促進する施策の評価や, 交通集中時に休憩施設を活用する交通円滑施策の評価等が可能になると期待される.

本稿では, 休憩行動モデル構築の基礎段階として実施したETCデータによる推定休憩時間の実態分析の結果に基づき, 長時間休憩に対応したマクロ休憩行動モデルの構築を行った結果を報告する.

Key Words : ETC data, resting behavior modeling, service area, inte-urban expressway

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「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「トリップ行動」という) が施策の実施によりどのように変容するかを予測する必要がある.

しかし, トリップ行動のうち, 「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, 2015年以降, 瀬谷ら³⁾, 毛利ら⁴⁾, 山田ら⁵⁾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, 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⁶⁾. 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。更に、実態により近いトリップ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。

本研究では、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、交通流シミュレーションへの実装、及び、休憩施設を活用した交通関連施策の路線単位、ネットワーク単位での評価への適用を目指している。著者らの先行報告では、ETCデータと車両感知器データとを融合させた、休憩施設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⁷⁾。ここでは、休憩時間120分超を長時間休憩の目安とし、200kmを超える距離帯で時間調整目的での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ている。また、分析結果を基に、主に通常休憩を対象としたマクロ休憩行動モデルの構築を行っている⁸⁾。

本稿では、先行報告の結果を基に、長時間休憩が業務やレジャーなど主に午前中に設定された予定の開始時刻（以下「業務開始時刻」という）に合わせて高速道路を流出するための時間調整行動の結果であるという仮説に基づき、総休憩時間を推定する、長時間休憩にも対応したマクロ休憩行動モデルを構築した結果を報告する。

2. 先行報告での休憩行動マクロ分析結果⁷⁸⁾

先行報告においては、全国の都市間高速道路でのETCトリップデータと感知器速度データから推定した休憩時間の分布特性について集計的なアプローチでの基礎分析を行った。

(1) 休憩時間の推定

トリップの総休憩時間の推定にあたっては、全ての車両が最短経路を通行し、感知器の断面平均速度で走行したと仮定したうえで、ETCトリップデータの流出入時刻の差分である旅行時間と、感知器勢力範囲をその時点での感知器の断面平均速度で移動する時空間走行軌跡に沿って算出した走行時間との差分を推定休憩時間とした。ただし、大型車に関しては、制限速度（100km/h）と大型車法定速度（80km/h）の差で生じる時間差を走行距離に応じて求め、その差（100kmあたり15分）を加えることで走行時間を補正している。

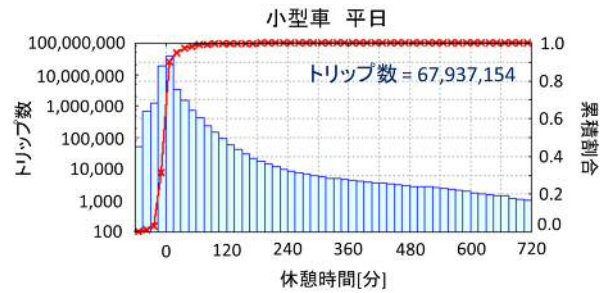


図-1 推定された休憩時間の分布（小型車・平日）

図-1は、平日の小型車トリップについて、推定された休憩時間のヒストグラムを15分毎に示したものである。休憩時間がマイナス側にも分布しているのは、平均速度よりも速い速度で走行し、かつ休憩しなかったトリップがあるためである。このような走行速度のばらつきに伴う休憩時間の推定誤差はプラス側にも分布すると考えられる。

(2) 休憩行動のマクロ分析

推定休憩時間による休憩行動の分析にあたっては、トリップの推定休憩時間を流出時刻が1時間毎、トリップ距離が10km毎のセル単位で集計を行ったうえで、2時間以上の長時間休憩と食事や買い物等が目的と考えられる1時間程度の休憩（通常休憩）が、トリップ距離と流出時刻でどのように変化しているかを、大小車種別及び平休別に分析した。

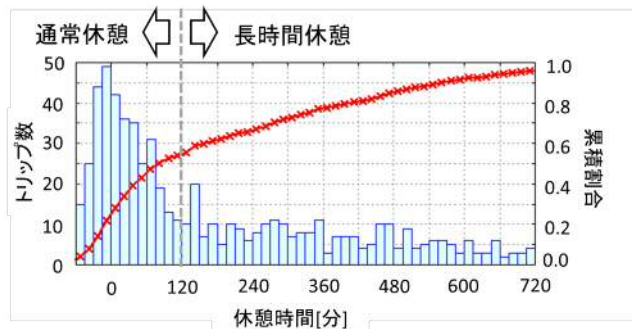


図-2 推定休憩時間の分布（大型車・休日・トリップ距離320km～330km・流出時刻6時台）

図-2に比較的長い休憩時間が多く見られた大型車の長距離トリップの休憩時間の分布の例を示す。相対累積頻度のグラフを見ると、120分までは曲線がシグモイド状に推移し、単峰性の分布形状であることが伺えるが、120分を超えると累積頻度が直線状に増加しており、異なる分布特性であることが示唆された。その他の距離帯でも同様の傾向が認められたため、休憩時間120分超を長時間休憩行動の目安とした。

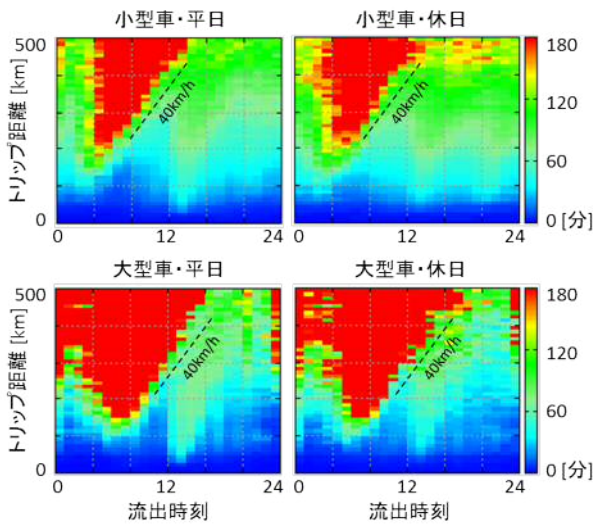


図-3 推定休憩時間85%タイル値コンター図

図-3に、流出時刻別、トリップ距離別に、推定休憩時間の85%タイル値を色分けしたコンターで視覚化したものを示す。色が赤に近いほど長時間休憩の占める割合が高いことを意味している。これより、長時間休憩の目安とした120分超（黄緑～黄色～赤）の分布形状の特徴から、深夜割引時間帯を待って流出するための時間調整や、業務開始時刻に合わせて流出するための時間調整が読み取れた。

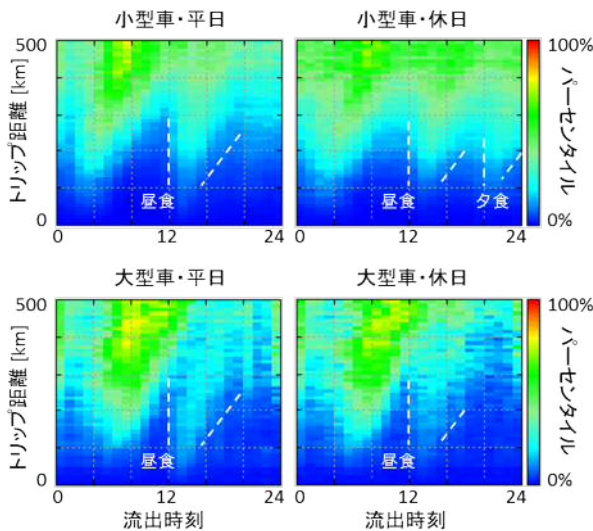


図-4 推定休憩時間60分超のパーセンタイル値コンター図

図-4に、流出時刻別、トリップ距離別に、推定休憩時間が60分超となるトリップのパーセンタイル値を色分けしたコンター図を示す。スケールが赤に近い色ほど、60分超の休憩時間が多いことを意味している。コンター図から、平日と休日の両方で、12時を境に60分超の休憩時間の割合が大きい三角形領域が、また、休日では20時を境に同様の三角形領域が新たに認められた。これらはそれぞれ昼食及び夕食の時間帯に高速道路を通行するトリップが、食事等の目的で休憩した行動が表れたと解

釈できる。

(3) マクロ休憩行動モデルの構築

さらに、高速道路ネットワーク流入時刻とトリップ長から、総休憩時間を推定するマクロ休憩行動モデルを構築した。即ち、高速道路に流入するトリップに対して、流入時刻とトリップ距離、及び車種の情報を用いて、以下の手順で総休憩時間を求めるものである。

- [1] 流入時間帯と距離帯別に用意された「長時間休憩実施確率マップ」を参照して、一様乱数を使って長時間休憩するかどうかを決める。
- [2] 長時間休憩をする場合は、流入時間帯と距離帯別に用意された長時間休憩分布に従って、一様乱数を使って休憩時間を決める。
- [3] 長時間休憩をしない場合は、流入時間帯と距離帯別にガンベル分布で近似された「通常休憩時間確率分布」に従って休憩時間を決める。（休憩時間がマイナスになる場合は「休憩しない」と見なす）

しかしながら、このモデルの考え方では、[1]で長時間休憩することになった場合、[2]で直接休憩時間が与えられるため、上述した「深夜割引時間帯を待って流出するための時間調整や、業務開始時刻に合わせて流出するための時間調整」の行動を明示的に考慮した構成になっていない。このため、以降では長時間休憩の流出時刻分布の実態を把握し、流出時刻に合わせて休憩時間を決めるモデル構築のために、通常休憩と時間調整休憩の複合分布で休憩時間分布を説明することを試みる。

3. 長時間休憩の流出時刻分布の実態把握

ここでは、2012年11月の1ヶ月間におけるETCデータを分析対象とした。期間中のETCトリップ数は、小型が10,398,064トリップ、大型が4,459,225トリップであった。このうち、トリップ距離が100km以上1,200km未満、旅行速度が4km/h以上150km/h未満のもので、推定休憩時間が120分超となるものが、小型で367,046トリップ、大型で887,578トリップあった。

(1) 長時間休憩車両の流入時間帯別流出時刻分布

図-5と図-6に、それぞれ小型車と大型車の長時間休憩車両（推定休憩時間120分超）の流出時刻分布を流入時刻1時間毎に示した。上段はトリップ距離が100km台、下段は500km台である。

トリップ距離100km台（100km以上200km未満）の小型車の場合、多くの流入時間帯に対して、4時間後が流出時刻のピークとなっている。これは、100km/hで走行したと仮定した場合の走行時間（1～2時間）に長時間

休憩とした2時間程度を加算した時間に相当する。仮に長時間休憩が予定流出時刻の制約によらないのであれば、流入時間帯が1時間違うと、流出ピークも1時間ずれて出現することになるが、例えば0時台～3時台流入について見れば、いずれも6時台にピークが重なっている。また、16時台～23時台流入についても、4時間後流出のピークに加えて、6時台流出のピークも認められる。

これらのことから、流入時刻に係わらず、流出時刻6～7時台に流入時刻に係わらないピークを持つ分布があるものと想定される。この6～7時台のピークの存在は、トリップ距離500km帯の小型車でも確認できる。また、小型車よりも大型車のほうがより顕著に見られる。

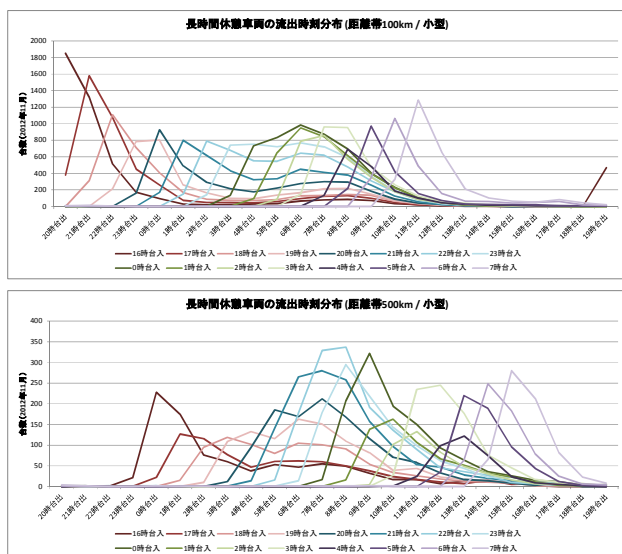


図-5 長時間休憩車両の流出時刻分布 (小型)

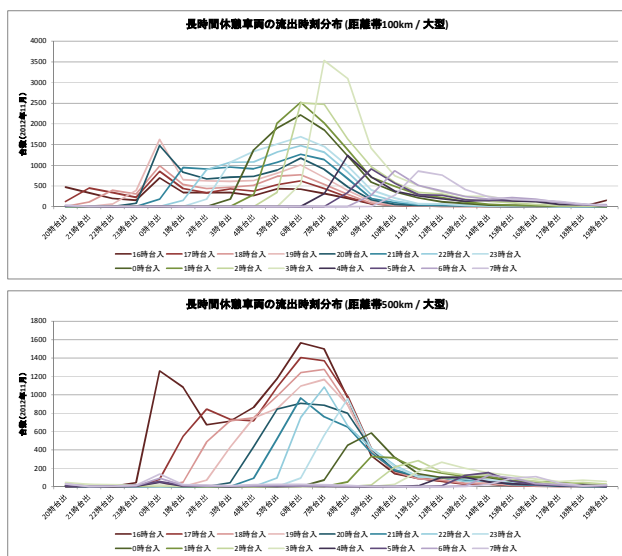


図-6 長時間休憩車両の流出時刻分布 (大型)

このほか、例えば小型車100km帯の流入時刻19時台では、流出時刻ピークが4時間後の23時台にあるが、0時台でも23時台とほぼ同程度の流出が見られる。これは、0時から始まる深夜時間帯割引の適用を受けるため

に2時間より長い休憩で流出時間を調整する車両が少なからずいる影響と考えられる。この傾向は大型車になるとより顕著になり、100km帯では16時台～20時台流入のいずれの場合も0時台が流出のピークになっていることから、料金感度の高さがうかがえる。

(2) ピーク時間帯前後に流出する車両の流入時刻別流出時刻分布

図-7と図-8に、それぞれ小型車と大型車の、前述の6～7時台のピーク時間帯を含む、流出時刻3～11時台を対象とした、流出時刻の累積分布を流入時刻1時間毎に示した。上段はトリップ距離が100km帯、下段は500km帯である。

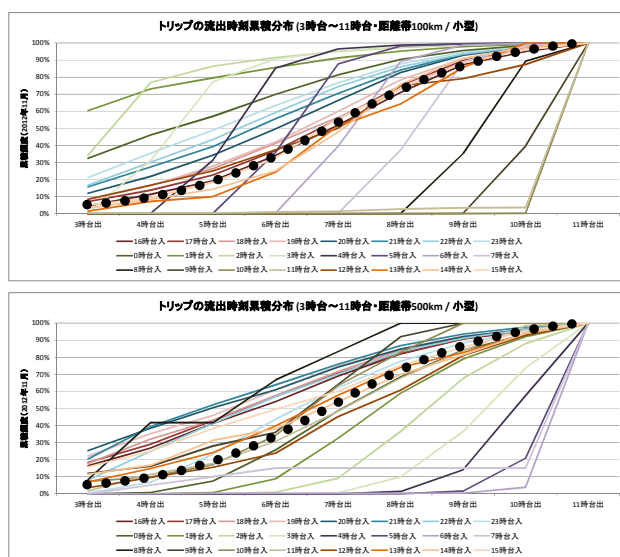


図-7 3時台～11時台の流出時刻分布 (小型)

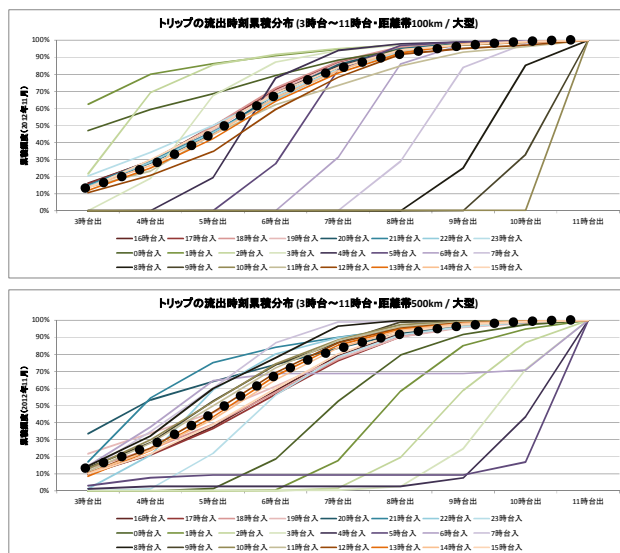


図-8 3時台～11時台の流出時刻分布 (大型)

この分布には、休憩をしない、もしくは通常休憩のみのトリップも含まれるため、トリップ距離100km帯の小型車の場合、流入時間帯に1～2時間を加えた時間帯

が流出時刻のピークとなる。流入時刻 2 時台以降の分布がそれに該当する。ただし、流入時刻 3 時台以前では、通常休憩車両によるピークや集計対象時間帯の最初である流出時刻 3 時台のピークに加え、6 時台流出をピークとして、11 時台までなだらかに減少する複合分布が見られる。この分布形は、流入時刻が早くなるにつれ、ある分布形に収束する様子が見られる。因みに、トリップ距離 500km 台の小型車でもほぼ同様の分布形に収束し、大型車では小型車とは異なる、距離帯によらないある分布形に収束する様子が見受けられる。

4. 流出時刻調整行動を考慮したマクロ休憩行動モデル

以上の分析から、マクロ休憩行動モデルでの休憩時間分布は、通常休憩分布に加えて、早朝から午前中にかけての業務開始時間帯に流出できるように、時間調整するための長時間休憩（以下「業務時間調整休憩」という）分布が複合した形式になっていると考えられる。この業務時間調整休憩分布の累積頻度分布はシグモイド状になっていることから、ここでは通常休憩分布と同様に、ガンベル分布で近似するとした。即ち、距離帯 d 、流入時間帯 t のトリップに対して、次式で休憩時間の累積確率密度分布 $R_{d,t}(x)$ を与えるものである。

$$R_{d,t}(x) = (1 - \alpha_{d,t})F_1(x; \mu_1, \eta_1) + \alpha_{d,t}F_2(x; \mu_2, \eta_2) \quad (1)$$

ここで、

- $\alpha_{d,t} \in [0,1]$: 業務時間調整休憩をする割合
- $F_1(x; \mu_1, \eta_1)$: 通常休憩の累積確率密度分布⁸⁾
- $F_2(x; \mu_2, \eta_2)$: 業務時間調整休憩の累積確率密度分布

である。なお、ガンベル分布の確率密度関数は、オフセットパラメータ μ と形状パラメータ η を用いて、次式で表される。

$$F(x; \mu, \eta) = \exp(-\exp(-(x - \mu)/\eta)) \quad (2)$$

図-9は、小型車について、それぞれ 100km 台と 400km 台で 16 時台流入と 22 時台流入の計 4 パターンの休憩時間分布を式(1)でフィッティングした結果を示したものである。これより、100km 台・16 時台流入を除けば、赤で示した長時間の休憩時間分布が、6 時台に流出する時間（図中黒の縦方向一点鎖線）にピークを持つように推定されており、業務時間調整休憩が同定されていることがわかる。また、その割合 α は、100km 台・22 時台流入では約 7%，400km 台・16 時台流入では約 5%であるが、

400km 台・21 時台流入では 40%になることが示された。

大型車についても、図-10 のとおり業務時間調整休憩分布が同定されており、小型車と比べると、より左寄りに分布していることから、流出のピークが 1〜数時間早いことがわかる。

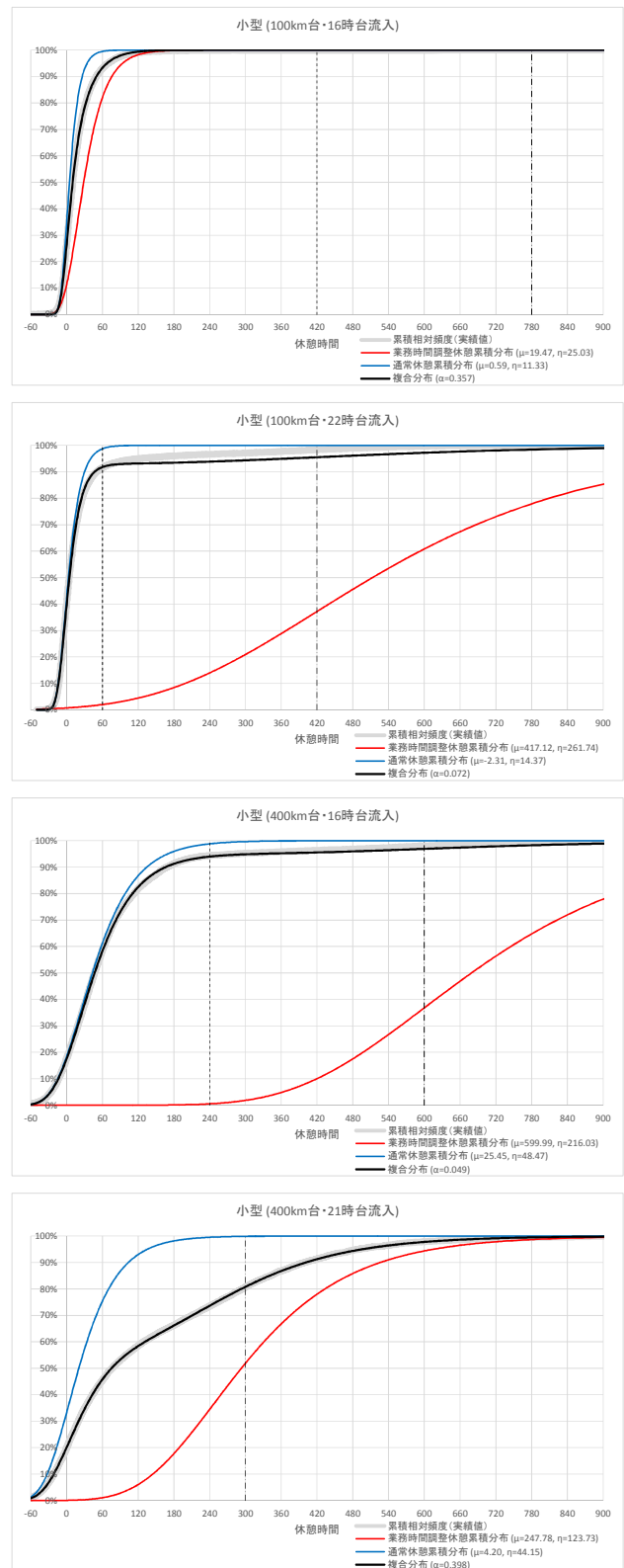


図-9 複合分布でフィッティングしたマクロ休憩行動モデルの流出時刻分布（小型）

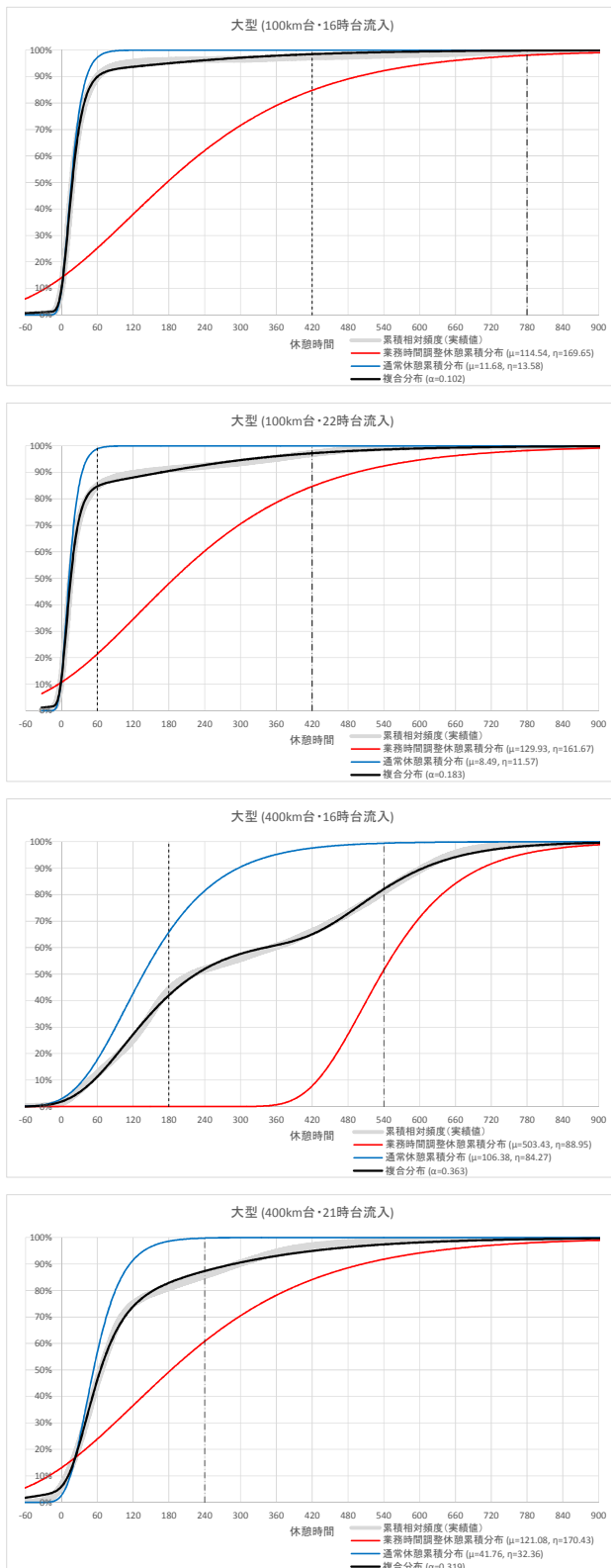


図-10 複合分布でフィッティングしたマクロ休憩行動モデルの流出時刻分布（大型）

5. まとめと今後の課題

以上において、長時間休憩が業務開始時間時刻に合わせて高速道路を流出するための時間調整行動の結果であるという仮説に基づき、まず、長時間休憩を行う車両の

流出時刻分布の実態を把握し、流入時刻によらず、6~7時に流出時刻のピークがあることを確認した。その上で、総休憩時間を推定する、長時間休憩にも対応したマクロ休憩行動モデル、即ち、先行報告で示した通常休憩の累積確率密度分布と業務時間調整休憩の累積確率密度分布との複合分布によるモデルを構築した。

長時間休憩を行う車両の流出時刻分布の実態からは、本稿でモデル化を行った業務開始時刻に合わせた時間調整のほか、深夜時間帯割引の適用を受けるための時間調整も把握はできているが、この時間調整に関してのモデル化を行うまでには至っていない。一連の休憩時間推定マクロモデル構築に関しての残された課題となっている。

今後は、ETC2.0プローブデータを用いて、走行経路上のSA/PA毎に休憩有無や休憩時間を決めるマイクロ休憩行動モデルの分析に取り組んでいくが、その際にここで構築したマクロ休憩行動モデルを利用して、総休憩時間を予め高速道路流入時に決めるなど、ハイブリッドなモデル化を検討するなど、モデルの活用方法を検討していく。

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, 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) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 平井章一, Jian XING, 小林正人, 堀口良太, 宇野伸宏: ETCデータを活用した都市間高速道路における休憩施設滞在時間推定に関する基礎分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, (CD-ROM), 2015
- 8) 平井章一, Jian XING, 小林正人, 堀口良太, 宇野伸宏: ETCトリップデータの分析に基づくマクロ休憩行動モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, (CD-ROM), 2015

(2016.4.22 受付)

Modeling Total Resting Time of Inter-urban Expressway Users Taking Long Time Rest

Shoichi HIRAI, Jian XING, Ryota HORIGUCHI and Nobuhiro UNO

This paper describes the preliminary analysis on the macroscopic resting behavior of expressway users by using electric toll collection (ETC) data. For the sake of the impact assessment of various traffic management schemes, we have been developing a mesoscopic traffic simulator which covers whole inter-urban expressway network in Japan. The simulator takes account of the dynamic route choice behavior of drivers and, for the further step, is expected to model the resting behavior during their trips. The authors have proposed in a previous paper a macroscopic model framework of driver's total resting time during their trips based on the analysis results of driver's total resting time utilizing ETC trip data and vehicular detector data. The paper simply assumes long time rest distributions for different expressway entrance times and trip lengths of passenger cars and heavy vehicles. This paper aims to elaborate the long time rest behavior in the proposed macroscopic model framework of driver's total resting time.