

# 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

平井 章一<sup>1</sup>・Jian XING<sup>2</sup>・小林 正人<sup>3</sup>・堀口 良太<sup>4</sup>・宇野 伸宏<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社高速道路総合技術研究所 (〒194-8608 東京都町田市忠生一丁目4-1)  
E-mail:s.hirai.aa@ri.nexco.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 (〒194-8608 東京都町田市忠生一丁目4-1)  
E-mail:xing@ri.nexco.co.jp

<sup>3</sup>非会員 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:kobayashi@i-transportlab.jp

<sup>4</sup>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

<sup>5</sup>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。

また、高速道路ネットワークシミュレーションへの休憩行動モデルの実装により、休憩施設を活用した交通関連施策の評価への適用が可能となる。

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。本稿では、ETCデータによる推定休憩時間の実態分析を基に、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<sup>1)</sup>の休憩施設への立寄りに関する研究、松下ら<sup>2)</sup>や瀬谷ら<sup>3)</sup>の休憩施設選択行動に関する研究などの散発的な研究ぐらいしか見られず、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<sup>4)</sup>。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着地点としている。著者らの先行報告<sup>5)</sup>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。本稿では、先行報告の結果を基に、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結果を報告する。

## 2. ETCデータによる休憩行動のマクロ分析結果<sup>5)</sup>

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。

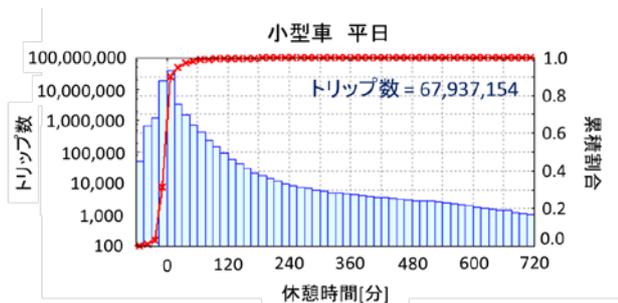


図-1 推定された休憩時間の分布 (小型車・平日)

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、大小車種別及び平日別に分析した。

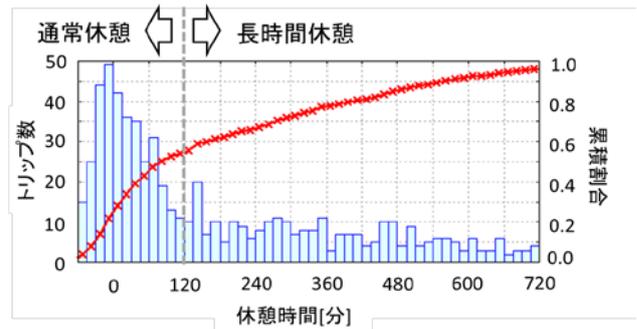


図-2 推定休憩時間の分布 (大型車・休日・トリップ距離320km~330km・流出時刻6時台)

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。

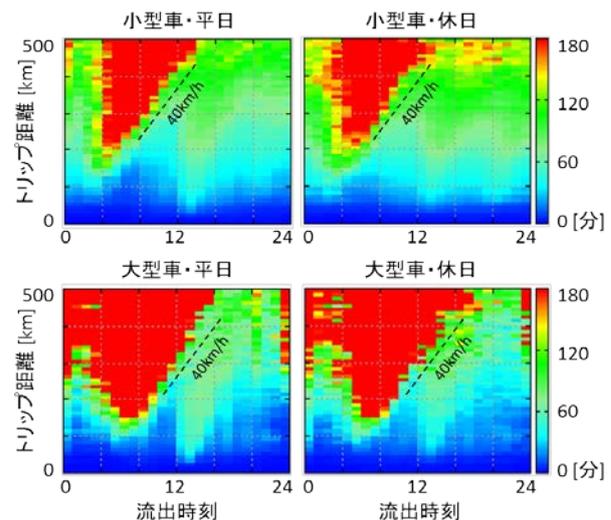


図-3 推定休憩時間 85%タイル値コンター図

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。

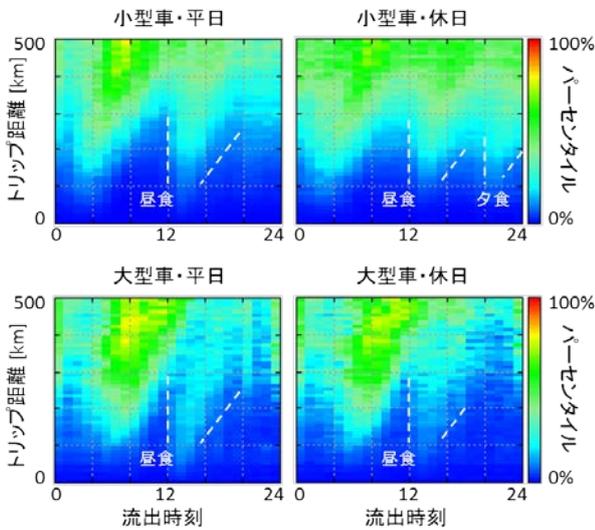


図4 推定休憩時間60分超のパーセンタイル値コンター図

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。

先行報告の結果を概説すると、推定休憩時間120分超を長時間休憩の目安としたうえで、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、通常休憩が昼食及び夕食時間帯に通行する場合に頻出する実態を確認したということである。

### 3. マクロ休憩行動モデルの構築

#### (1) マクロ休憩行動モデルの概略構成

ここでは、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。図5に休憩行動マクロモデルの概略構成を示す。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用意された「通常休憩時間確率分布パラメータ」を用いて確率分布を生成し、一様乱数を使って休憩時間を決める。（休憩しない場合も含まれる。）

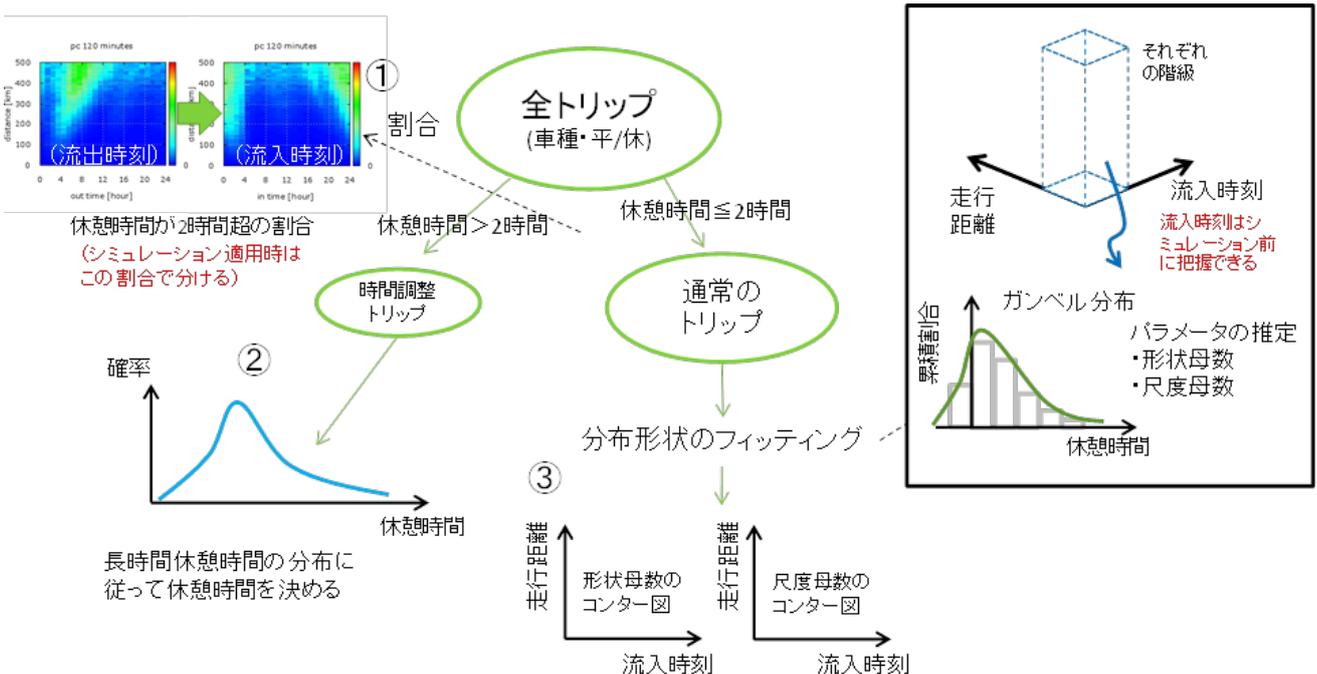


図5 休憩行動マクロモデルの概略構成

### (2) 通常休憩時間確率分布のパラメータ推定

マクロ休憩行動モデルでの通常休憩時間分布を求めるため、流入時間帯と走行距離帯別に休憩時間確率分布形を調べた。ここでは休憩時間分布が左右非対称の極値分布系が考えられるため、ガンベル分布とガンマ分布で、それぞれ最尤推定法によりフィッティングを行ったところ、尤度に大きな差違が認められず、ここではパラメータが2つで済むガンベル分布を採用した。近似したガンベル分布の尺度パラメータ $\alpha$ と形状パラメータ $\beta$ は、出発時間帯別、距離帯別のマップとして用意される。図6に平日の小型車トリップに対するパラメータマップを示した。

### (3) 推定休憩時間の誤差の考慮

ここでのパラメータ推定に用いた休憩時間実績値は、ETC トリップデータから実測できる「旅行時間」と、感知器速度データを用いて求めた「走行時間（軌跡追跡時刻和所要時間）」との差から求めたものである。走行時間を求める際は、感知器勢力範囲を平均速度で走行し

たと仮定するが、個別車両の走行速度は平均値に対してばらついており、その結果には誤差を伴っている。

このため、図7の青いハッチングで示したように、推定した休憩時間はマイナス側にも分布している。これは、平均速度よりも早く走行したために、推定した休憩時間が負となったものと考えられるが、対応して、分布からは直接確認できないが、赤のハッチングで示したようなプラス側の誤差を持つ場合も考えられる。即ち、平均速度よりも遅く走行したために、推定した休憩時間が正となったものである。

ここでは、これらの誤差の影響を取り除くため、全体のうちの平均速度より遅い車両の割合が既知であると仮定して、以下のように誤差の影響を考慮する。即ち、次式(1)で示される青ハッチングの面積  $F_0$  は、休憩なしで走行した車両のうち、タイムスライス所要時間よりも早かったトリップの割合である。

$$F_0 = \int_{-\infty}^0 f(x) dx \quad \dots (1)$$

ここで、

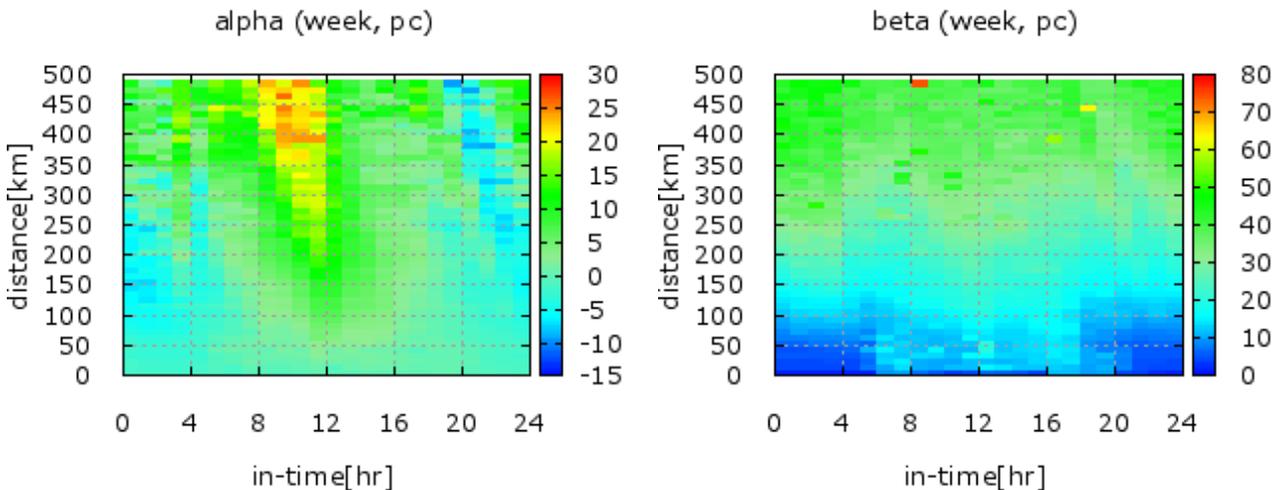


図6 ガンベル分布でフィッティングした通常休憩時間確率分布のパラメータマップ（平日・小型車）

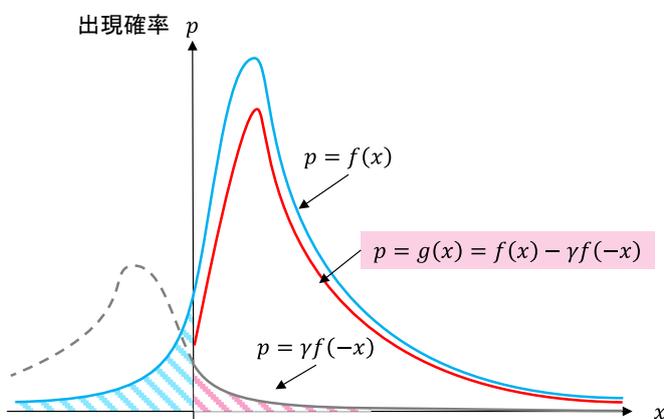


図7 休憩時間分布における誤差の影響

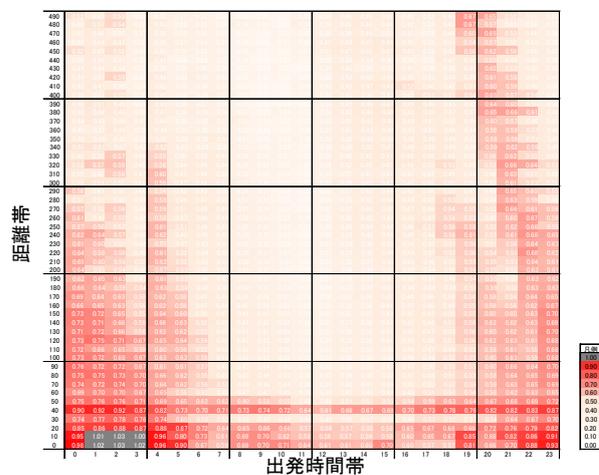


図8 「休憩しない」確率マップ（平日・小型車）

$f(x)$  : 推定休憩時間確率分布を近似するガンベル分布

一方、休憩なしで走行した車両のうち、タイムスライス所要時間より遅かったものの分布形はわからないため、 $f(x)$ を反転して、係数 $\gamma$ でスケールした赤いハッチングの分布形を仮定し、元の分布から差し引いた新たな分布形 $g(x)$ を休憩時間分布とするものである。

$$p = g(x) = f(x) - \gamma f(-x) \quad \dots (2)$$

$$\gamma = s/(1-s) \quad \dots (3)$$

ここで、

$s$  : 全体のうちの平均速度より遅い車両の割合

このとき、 $g(x)$ の切片  $G_0$ は「休憩しない」確率であり、赤青両ハッチングの合計面積として次式で示される。

$$G_0 = (1 + \gamma)F_0 \quad \dots (4)$$

図-8に平日・小型車トリップの「休憩しない」確率分布を示した。

#### 4. モンテカルロシミュレーションによる休憩時間確率分布の推定

以上の仮定をおいた上で、マクロ休憩行動モデルをモンテカルロシミュレーションを用いて次のような計算手順で構成した。即ち、流入時刻と走行距離帯に応じてマップ形式で用意されたパラメータ $\alpha$ と $\beta$ で決まる累積ガ

ンベル分布形を  $F(x)$ としたとき、次式で示される休憩時間累積確率分布  $G(x)$ を得る。

$$G(x) = \frac{u - G_0}{F_l - F_0}(F(x) - F_0) + G_0 \quad \dots (5)$$

$$F(x) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right] \quad \dots (6)$$

ここで、

$\alpha$ : オフセットパラメータ

$\beta$ : 形状パラメータ

$u$ : 実績データでの長時間休憩をしない割合 (=休憩無し+通常休憩の割合)

$F_l$ :  $x=l$ の時の累積ガンベル分布の値 (ここでは  $l=120$ 分の値)

即ち、関数  $G(x)$ は  $F(x)$ を休憩しない確率  $G_0$ と、長時間休憩しない確率  $u$ の間でスケールしたものとなっている。

これにより、休憩時間を決める手順は以下の通りとなる。

- ①  $r \in [0, 1)$  の一様乱数  $r$  を生成する。
- ②  $r \geq u$  ならば、長時間休憩 (120分以上) の分布に従って休憩時間を決める。
- ③  $r < G_0$  ならば、休憩無しとする。
- ④ それ以外は、 $r = G(x')$  となる  $x'$  を数値探索で求め、休憩時間とする。

図-9にモンテカルロシミュレーションが参照する休憩

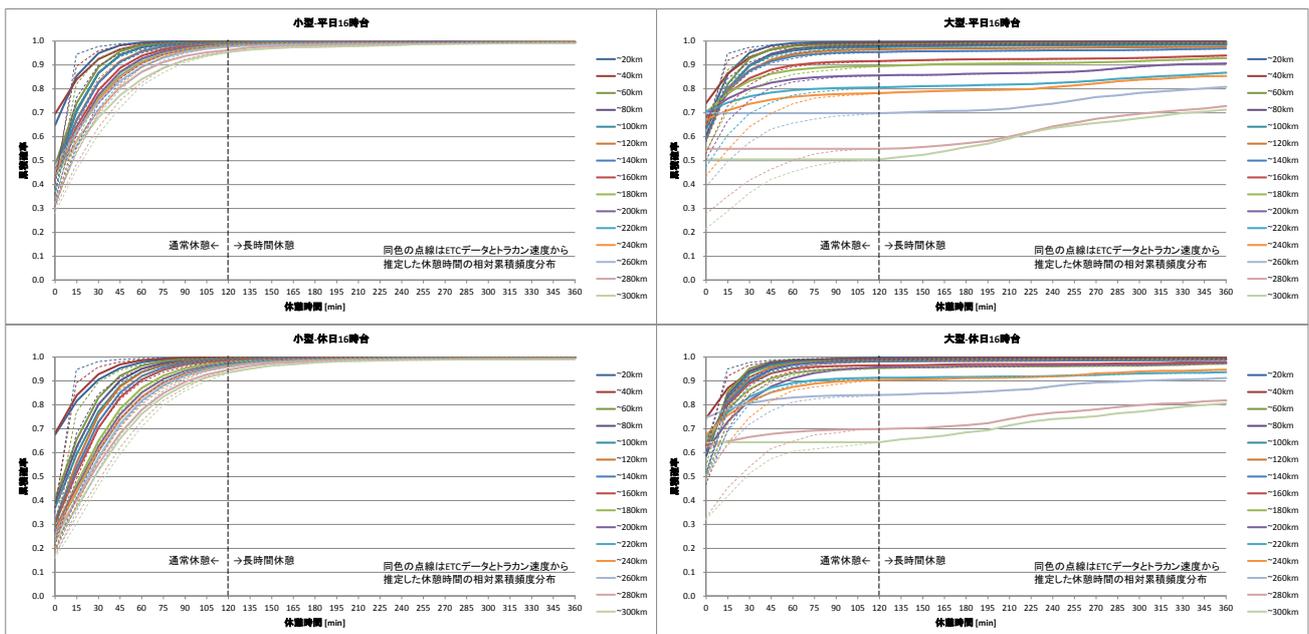


図-9 マクロ休憩行動モデルが参照する休憩時間累積確率分布 (16時台流入, 上段: 平日/下段: 休日, 左列: 小型車/右列: 大型車)

時間累積確率分布を示す。図では 16 時台に高速道路に流入する場合の休憩時間を距離帯別にグラフで示している。点線は ETC データと感知器データから推定した休憩時間の分布で、実線はこれをフィッティングしたガンベル分布パラメータから求めた式(5)の分布である。なお、ここでは  $s$  を小型車で 0.3、大型車で 0.2 と仮定した。

グラフより、距離帯が長くなるほど切片で示される休憩しない確率が小さくなり、累積確率曲線が右にシフトしていることから、休憩時間が長くなる傾向が確認できる。また、小型車と比べて大型車のほうが、短時間の休憩をする確率は小さく、その代わりに時間調整のための長時間休憩をする確率が大きいことなどがわかる。

## 5. まとめと今後の課題

以上において、ETC データと感知器速度データにより推定した休憩時間分布を基に、高速道路トリップにおける総休憩時間を流入時に決めるためのマクロ休憩行動モデルの考え方を示し、分析結果を示した。

ETC データからの休憩時間推定には、平均的な走行時間に対する個別車両の走行時間の違いが誤差として含まれるため、その影響を除外して休憩時間分布を求める手法を示した。ただし、今回は推定走行時間の誤差分布を適当に仮定したが、より精緻化するためには、ETC2.0 プローブデータのような車両走行データを用いて、まったく休憩しなかったトリップの旅行時間実績値と走行時間感知器推定値を比較するなど、誤差分布の実態を把握

する必要がある。

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) 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
- 5) 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

(2015.7.31 受付)

## Modeling Total Resting Time of Inter-urban Expressway Users Based on the Analysis of ETC Trip Data

Shoichi HIRAI, Jian XING, Masato KOBAYASHI, Ryota HORIGUCHI and Nobuhiro UNO

This paper describes the preliminary analysis on the 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. In this paper, we propose 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. Finally future subjects on the application of the proposed model is discussed.