

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

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 京都大学准教授 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@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の分析が必要であるが, 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, 休憩行動モデルを交通シミュレーションに実装できれば, 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, ETCデータによる推定休憩時間の実態分析, 及び, 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, inter-urban expressway service area

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する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⁾や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, 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。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、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、休憩施設に関連する各種施策の路線単位、ネットワーク単位での評価への適用を着地点として、様々な交通データを活用し休憩行動の分析を行っている。休憩施設選択行動と休憩施設滞在行動の両者を詳細に分析するためには、経路情報が付された個々の車両の情報が必要となるが、現状では十分な蓄積がなされていない。そこで、本稿では、休憩施設滞在時間に着目し、高速道路利用者全体に占める利用率が約9割に上るETCデータを活用して、利用行動実態のマクロ的な分析を行うとともに、その結果に基づくマクロ休憩行動モデルの構築を行った結果を報告する。

2. 休憩行動分析の視点からのETCデータの特性

ここで扱うETCデータは、個人情報保護に配慮してスクランブルされた車両識別番号（以下、「仮ID」という）と料金車種区分及び流入出ICの場所と通過時刻を含むトリップ単位の情報である。このETCデータを用いて、図-1のように流入出時刻の差から各トリップの正確な「旅行時間」を知ることができるほか、流入出IC間の最短経路を通行する等の適当な仮定をおいた上で、感知器速度データから求められる「走行時間」を旅行時間から差し引くことで、トリップ毎に合計の「休憩時間」を推定することができる。個別車両の位置と時刻を連続して記録したプローブデータを用いれば、休憩回数や具体の休憩場所といった詳細な休憩行動の情報が得られるものの、現状ではデータ量が少ない、車種ごとの代表性（サンプル率）が不明である等の懸念がある。ETCデータを用いた分析では詳細な休憩行動はわからないものの、上述したとおり9割近い利用者の休憩行動を把握できる優位性を活かして、車種やトリップ距離あるいは通行時間帯等の要因がどのように休憩時間に影響するかを集計的

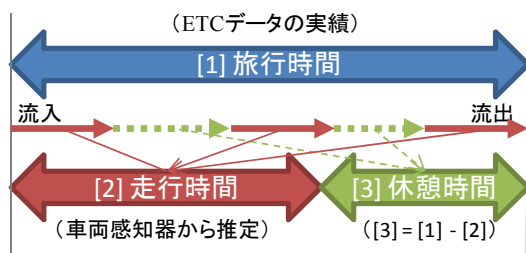


図-1 旅行時間と走行時間・休憩時間との関係

なアプローチで分析でき、休憩行動のマクロなモデル化ができること期待される。このようなマクロな視点での休憩行動の把握は、今後、個別車両のプローブデータの蓄積が進み、よりミクロな分析に基づく行動モデルが構築された場合の再現性を検証する上での指針として有用であるほか、シミュレーションへの実装において、ミクロモデルと組み合わせて、高速道路流入時にマクロモデルで総休憩時間を決めた上で、ミクロモデルによる個別休憩施設での休憩判定の際に、総休憩時間を超えないようトータルコントロールすることで、再現精度の向上が期待できると考えられる。

なお、ここでの走行時間は、感知器による平均走行速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を伴うものであり、特に前者の誤差は休憩時間の分布と比べても相応に大きいと考えられる。これらの誤差の実態把握には、個別プローブ車両データなど、新たなデータが必要となるため、分析は別の機会に譲ることとする。従って、以降で述べる休憩時間には、これらの誤差が含まれていることに留意が必要であるものの、休憩行動に関する研究事例や知見が少ない現状においては、9割近い高速道路利用者の行動を捉えて集計的に休憩行動を分析する本研究のアプローチにも一定の意義は認められるであろう。

3. ETCデータによる高速道路トリップ実態分析

(1) 分析目的と対象データ

本章では、ETCデータを活用して、全体的なトリップ数やトリップ距離、旅行時間分布などの高速道路トリップの実態を把握し、休憩施設滞在時間推定にあたっての課題等の抽出を行った。

対象とするトリップはNEXCO 3社が管理する路線のうち、東名高速・名神高速などと連結した道路ネットワークで、流入時及び流出時の2回のみ料金所を通過しているトリップのみを抽出したものである。なお、分析に際しては、車種は大型（料金区分の中型車、大型車、特大車）、小型（普通車、軽自動車）の2車種、曜日配列は流入時刻を基準とした平日、休日（土曜、日曜、祝日）

表-1 トリップ数と平均トリップ距離

	平日小型	平日大型	休日小型	休日大型
総トリップ数 (千台)	51,085.7	15,931.5	25,991.3	3,364.4
日当りトリップ数 (千台/日)	2,432.7	758.6	2,887.9	373.8
総走行台キロ (百万台・km)	2,487.9	1,397.7	1,678.3	303.8
平均トリップ距離 (km)	48.70	87.73	64.57	90.30

の2種類に分類している。また、対象とする期間は2012年11月の1ヶ月間としているが、月跨ぎのトリップは対象外としている。

また、走行経路は、ICペア間の距離が最短となる経路を走行したものと仮定している。

(2) ICペアトリップの特徴

a) トリップ数と平均トリップ距離

表-1に、車種別、平休別の総トリップ数、日当たりトリップ数及び平均トリップ距離を示す。平日より休日、小型より大型のほうがトリップ距離が長くなる傾向にある。因みに、日当たりのトリップ数は、小型は平日より休日のほうが多く、大型は休日より平日のほうが多くなっており、ETCデータにおける大型車の混入率は平日で23.8%、休日で11.5%となっている。

b) トリップ距離別トリップ数

表-2に、車種別、平休別のトリップ距離別トリップ数の累加比率を示す。全ての車種・曜日配列で10~20kmのレンジが最頻となっている。トリップ距離が50km以下の割合は、平日小型で70.8%、休日小型で59.1%、大型は54~56%となっている。また、85パーセンタイルトリップ距離は、平日小型で80km程度、休日小型で110km程度、大型は140~150km程度となっている。

休憩行動が期待できる100kmを超えるトリップは、平日小型で10.5%、休日小型で18.3%、大型で23~24%となっており、相対的には少なくなっている。また、500kmを超えるトリップは小型で1%未満、大型で3%弱存在し、1,000kmを超えるトリップもゼロではない。

c) 構成トリップ数別ICペア数

表-3に、車種別、平休別の構成トリップ数別ICペア数を示す。総トリップ数の最も多い平日小型を例にとると、トリップ数1台/日超のICペア数は約53千ペアであり、単純計算で算出した構成可能なトリップ数312千ペア（実際は車種限定や方向限定があり組み合わせ不能のICペアが存在するため過大な数字ではあるが）に対して17%に過ぎず、大多数のICペアは構成トリップ数が少ない、若しくは構成トリップが存在しない。また、1,000台/日を超えるトリップ数を有するICペアは279ペアと、構成トリップの存在する全ICペアの0.1%に過ぎず、特定のICペアを抽出して単独で分析することを想定した場合、分析可能なサンプルは限られてくる。

d) トリップ距離とICペア構成トリップ数との関係

表-4に、平日小型を対象とした、トリップ距離とICペア構成トリップ数との関係を示す。構成トリップ数が1,000台/日を超えるICペア（表中(f)）のほとんどがトリップ距離100km超の割合は0.7%となっている。

また、構成トリップ数1台/日以下（表中(a) (b)）、トリ

ップ距離が100km超のICペアが128,662ペアと、構成トリップの存在するICペアの70%を占める。因みにこれらのトリップ数の合計は月全体で573千台存在し、トリップ距離100km超の総トリップの11%を占める。構成トリップ数の少ないICペアであっても、集計を行うことを前提とすれば、データとしては有用なものと考えられる。

e) 高トリップ数ICペアの特徴

図-2は平日小型並びに平日大型の構成トリップ数の上位50位まで、100位まで及び200位までのICペアについて、地域特性を整理したものである。上位200位までは、平

表-2 トリップ距離別トリップ数の累加比率

	平日小型	平日大型	休日小型	休日大型
10km以内	11.0%	8.1%	7.7%	9.7%
20km以内	32.8%	24.1%	24.8%	23.5%
50km以内	70.8%	55.6%	59.1%	54.5%
100km以内	89.5%	77.4%	81.7%	76.0%
200km以内	97.1%	89.2%	94.6%	88.7%
300km以内	98.9%	93.4%	98.0%	93.3%
500km以内	99.8%	97.7%	99.7%	97.7%
1,000km以内	99.993%	99.9%	99.992%	99.8%
1,500km以内	99.99990%	99.997%	99.9998%	99.996%

※小数第2位を四捨五入。ただし、99.9%以上は、9以外の数字が出現する桁の次の桁を切り捨て。

表-3 構成トリップ数別ICペア数

	平日小型	平日大型	休日小型	休日大型
構成トリップ有全ICペア数	183,994 (58.9%)	164,717 (52.7%)	178,211 (57.0%)	105,970 (33.9%)
トリップ数内訳	1台/月	46,010 (14.7%)	43,146 (13.8%)	43,391 (13.9%)
	1台/日以下	85,377 (27.3%)	78,262 (25.0%)	63,421 (20.3%)
	10台/日以下	33,059 (10.6%)	31,837 (10.2%)	45,008 (14.4%)
	100台/日以下	14,746 (4.7%)	10,317 (3.3%)	20,660 (6.6%)
	1000台/日以下	4,523 (1.4%)	1,121 (0.4%)	5,443 (1.7%)
	1000台/日超	279 (0.1%)	34 (0.01%)	288 (0.1%)

※()は計算上構成可能なICペア数(312,445)に対する比率

表-4 トリップ距離とICペア構成トリップ数との関係
(小型車・平日)

	ICペア距離レンジ						
	10km以下	20km以下	50km以下	100km以下	200km以下	200km超	
構成トリップ数レンジ※1	(a)	8 (0.7%)	10 (0.5%)	24 (0.3%)	237 (1.5%)	3345 (8.2%)	42,386 (36.2%)
	(b)	7 (0.6%)	19 (0.9%)	225 (3.1%)	2,195 (14.3%)	18,821 (45.9%)	64,110 (54.7%)
	(c)	152 (13.7%)	178 (8.7%)	1,165 (16.0%)	6,348 (41.4%)	15,366 (37.5%)	9,850 (8.4%)
	(d)	550 (49.7%)	840 (41.1%)	3,634 (49.8%)	5,604 (36.6%)	3,279 (8.0%)	839 (0.7%)
	(e)	330 (29.8%)	908 (44.4%)	2,142 (29.4%)	907 (5.9%)	204 (0.5%)	32 (0.03%)
	(f)	60 (5.4%)	89 (4.4%)	100 (1.4%)	28 (0.2%)	2 (0.005%)	0 (0%)
合計	1,107 (100%)	2,044 (100%)	7,290 (100%)	15,319 (100%)	41,017 (100%)	117,217 (100%)	

※1 (a) 1台/月, (b) 1台/日以下, (c) 10台/日以下, (d) 100台/日以下, (e) 1,000台/日以下, (f) 1,000台/日超
注) ()はICペア距離レンジ別ICペア合計に対する内訳

日小型では全てが、平日大型でも97%がトリップ距離100km以下の域内交通である。上位50位まででは平日小型で約半数、平日大型で約7割が首都圏のICペアが占めており、次いで中京圏、関西圏が続いている。また、上位100位まで、200位までと枠を広げるにつれて他の都市圏や地方部の域内交通のICペアが増加する傾向にある。高トリップ数ICペアのみでの分析を想定した場合、大都市近郊のトレンドが強くなり、結果を地方部へ適用する際に留意が必要である。

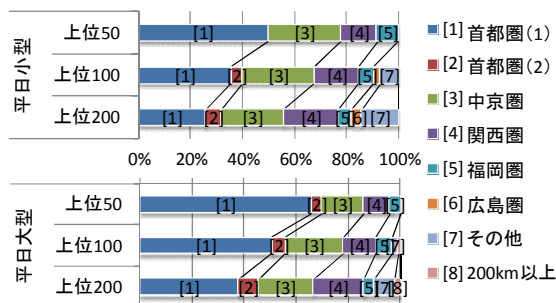
f) ICペアトリップの特徴のまとめ

前項までの結果を、休憩行動分析という視点でまとめると、以下のとおりとなり、集計的な分析が適していると言える。

- ・ 休憩行動が期待できる長トリップに関しては、構成比率は小さく、また、構成トリップ数の少ないICペアが大多数を占めているため、特定ICペアを抽出した分析はサンプル数的に厳しい。
- ・ 構成トリップ数の多いICペアに関しては、短トリップが多数を占めており、特定ICペアを抽出した分析を想定した場合、結果に偏りが出る可能性がある。

(3) 旅行時間分布

旅行時間は、車種、曜日、流入時刻、利用目的などにより異なってくるものと考えられる。また、車両毎に



首都圏(1): 東京、八王子、新座、浦和、三郷の本線料金所に足を持つICペア
 首都圏(2): 首都圏に足を持つICペアで、首都圏(1)以外
 図-2 高トリップ数ICペアの内訳

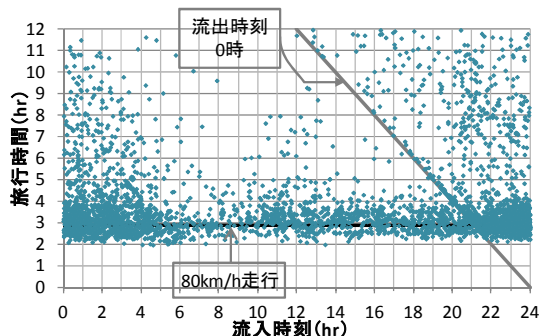


図-3 流入時刻と旅行時間との関係 (東京→浜松、大型車・平日)

希望速度、休憩間隔や休憩時間が異なることから、旅行時間にばらつきが生じるものと想定される。

図-3に、東名高速・東京ICから流入し浜松ICで流出する平日大型の、流入時刻と旅行時間との関係を示す。この事例では、

- ・ 深夜時間帯に流入する車両が多い。
- ・ 旅行時間にばらつきがあり、少数ではあるが、80km/hで走行した場合休憩時間が概ね2時間以上となる5時間以上の旅行時間も散見される。
- ・ 0時以降の流出による料金割引(深夜割引: 0時~4時に通行(流出)する車両に対して、通行料金が半額になる割引)適用を見据えた、時間調整を行っていると思われる車両が散見される。

などの特徴がみられる。他の事例においても、特に大型車では料金割引を目的とした時間調整を行っていると思われる車両が確認されており、休憩時間の分析やモデル化にあたっては、車両ごとのばらつきに加え、時間調整などの長時間休憩の車両を考慮する必要がある。

4. ETCデータによる休憩行動のマクロ分析

(1) 分析対象データの概要

ここでは、NEXCO 3社の管理する路線の全国のETCデータ及び感知器5分間速度データを用いる。そのうち、多くの均一料金区間では料金ゲートを1回しか通行せず、流入ICに同じ場所が記録されるため、正確なトリップ情報が得られない。このため、均一料金区間のETCデータは対象外とした。即ち、分析対象の道路ネットワークは3章で対象としたネットワークに加え、東関東道などの千葉地区や北海道、沖縄なども含んだものとなっている。また、車種や曜日の区分、対象期間は、3章と同じとした。分析対象としたETCデータ数を表-5に示した。

(2) 休憩時間の推定方法

休憩時間の推定は、2章で述べたとおり、まず各ETCデータの流入IC通過時刻の差から旅行時間を求める。次に、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て、流入時刻から、図-4のように感知器勢力範囲をその時点での感知器速度で移動する時空間走行軌跡に沿って走行時間を求め、これを旅行時間から差し引いて休憩時間を推定する。

走行時間を求める際の感知器速度は、小型車に対して

表-5 休憩行動分析のETCデータ数(2012年11月)

	平日	休日	計
小型	67,937	34,132	102,070
大型	19,958	4,277	24,234
計	87,895	38,409	126,304

※合計は端数処理の関係で合わない場合がある(単位:千台)

は、車線別交通量で重み付け調和平均した断面平均速度を用いた。大型車に関しては、これより遅い速度で走行していると考えられるが、感知器データではその実態を把握することが不可能なため、便宜上、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、小型車の走行時間にその差を加えて補正する簡易な方法とした。この方法では、100kmの距離では15分を加える計算となるが、元の断面平均速度が全車両の走行速度の平均値であるのに対し、大型車のみを補正の対象とすることで、走行時間が過大に推定されている可能性があることに留意が必要である。

(3) 休憩行動の分析方針

図-5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が、その判別は困難である。このため、プラス側の誤差もマイナス側と同程度の広がりを持つと便宜的な仮定をおく。これにより、トイレ休憩のような15分程度の短い休憩時間については、マクロ分析の対象外とし、食事や買い物等の目的と考えられる15分を超える休憩行動（以下、通常休憩行動）に注目することとする。

また、数は少ないものの、トリップの中には数時間以上、場合によっては1日以上以上の休憩時間となるものも見

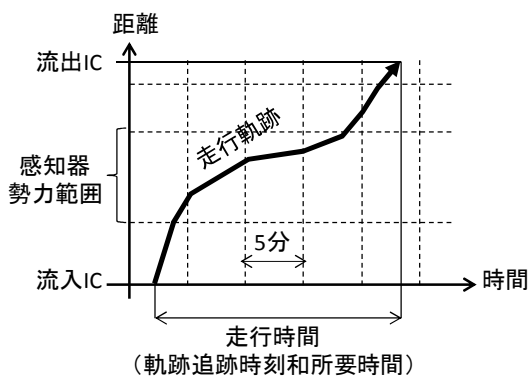


図-4 走行時間の求め方（軌跡追跡時刻和所要時間）

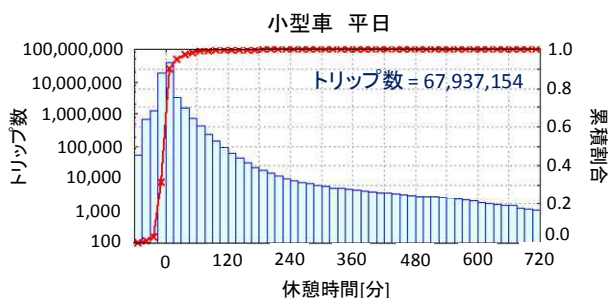


図-5 推定された休憩時間の分布（小型車・平日）

られる。このような長時間の休憩行動は、夜間の睡眠休息や希望する流出時刻になるまでの時間調整等の目的と考えられ、ここでは通常休憩行動とは区別して分析する。

なお、ここでは基礎分析として、トリップ距離、流入時刻、旅行時間、走行時間といった多変量と休憩時間との関係性をOLAP (online analytical processing) 的手法で視覚化することを試みた。以下では、その中で最も視覚的に特徴が把握できた流出時刻及びトリップ距離と休憩時間との関係性を中心に、分析結果を考察する。

(4) 長時間休憩行動の把握

通常休憩と長時間休憩を区分する目安を把握するため、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に関して、図-6に休憩時間の分布を示した。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うかがえるが、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る。その他の距離帯でも同様の傾向が認められたため、ここでは120分超を長時間休憩行動の目安とする。

図-7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し、各セルの85%タイル値を色分けしたコンターで視覚化したもので、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、以下の時間調整行動が読み取れる。

a) 深夜割引時間帯を待つて流出するための時間調整

1つ目の特徴は、小型車では約350km以上、大型車では約250km以上の距離帯で、流出時刻が0時台のセルで長時間休憩の割合が増えていることである。これは、当時、0時～4時に深夜割引が設定されており、割引が開始される時間帯に流出できるよう、時間調整していたものと考えられる。

いずれの車種でも長距離になるほど、長時間休憩の割合が増加するのは、短距離では夜間の走行時間を比較的正確に見込めるため、0時台に流出できる時刻で流入し、

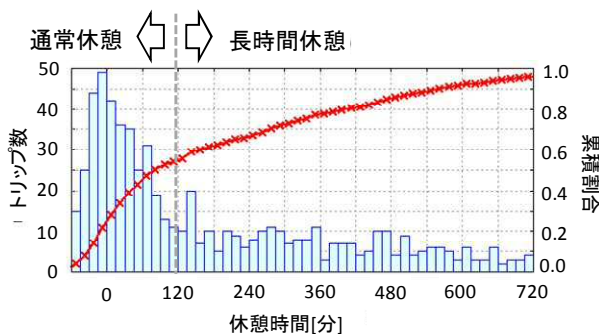


図-6 推定休憩時間の分布（大型車・休日・トリップ距離 320km～330km・流出時刻 6時台）

長時間休憩で時間調整する必要が少ないのに対して、長距離ではそもそも疲労防止等で休憩する機会が増えるほか、夕方のピーク時間帯で渋滞に巻き込まれる可能性など不確定要素も多く、その分余裕を見たスケジュールで早めの時刻に流入するため、スムーズに走行できた場合に割引を受けるための時間調整をする必要が生じるためと推察される。

なお、大型車については、23時台のセルでも長時間休憩の割合が大きくなっているが、これは夜間に大型車の通行量が多い東名高速・東京ICと東名阪道・亀山ICで、当時は特例として23時から深夜割引を適用しており、この時間帯での流出を狙った時間調整の長時間休憩が増えたためである。

b) 業務開始時刻に合わせて流出するための時間調整

2つ目の特徴は、長時間休憩の割合が大きい黄色から赤の領域が、早朝から午前中の時間帯にかけて下向き三角形形状に分布していることである。この三角形形状の領域は、小型車では4時台を境に約200km以上の距離帯で出現し、徐々にコンター図の右上方向に境界部が推移して、14時頃に収束している。また、大型車でも三角形の頂点

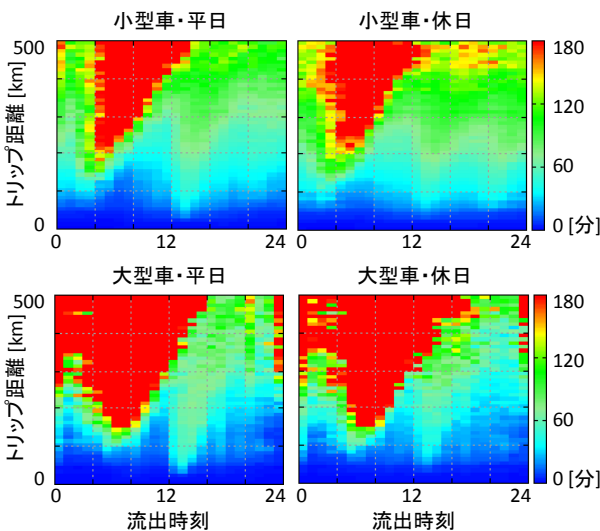


図-7 推定休憩時間 85%タイル値コンター図

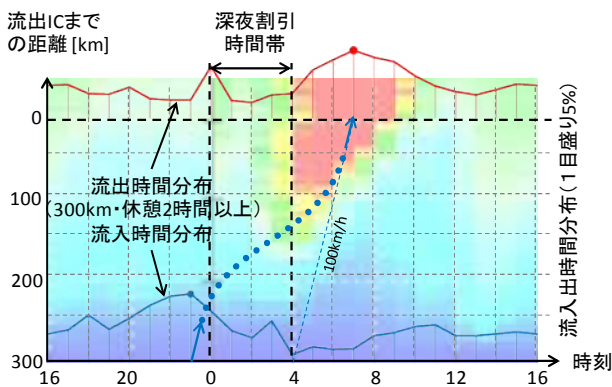


図-8 業務開始時刻に合わせて流出時間調整の説明 (トリップ距離 300kmの場合)

が6時台にずれているものの、4時台から長時間休憩の領域が増え、午前中から15時頃までに収束する類似の状況が見られる。

この三角形形状のパターンは、次の2通りの長時間休憩行動原理を仮定することで、定性的に説明できる。

1つ目は、流入時刻と流出時刻に業務上の制約があるために長時間休憩する行動原理である。即ち、駐車スペース利用の制約等で、余り遅い時間まで出発地に留まることができず、かつ翌日の業務開始時刻の制約で、あまり早い時刻に目的地に到着できない状況で、休憩を兼ねた時間調整の長時間休憩を高速道路上で行うものである。

図-8は平日の小型車トリップのうち、距離が300kmで長時間休憩をしたものについて、流入出時間分布を図-7のコンター図にそれぞれ青と赤の線で重ねたものである。先に述べた赤の三角形領域の4時頃のエッジは、この時刻を境に、赤線で示した長時間休憩の流出台数が増えることを意味しているが、これは業務開始時刻が4時以降に増え始めると考えることで説明される。

また、赤線の流出ピークが7時台にあるが、仮に流入時刻に制約がなく、かつできるだけ短い旅行時間になるような行動パターンを採るとすれば、制限速度で走行した場合の流入時刻である4時台から2時間程度早い1~2時台に流入ピークがあるはずと考えられる。しかしながら、実際には5時間程度早い前日22~23時台が青線の流入ピークになっており、流入時刻にも何らかの制約があることが示唆される。

2つ目は、業務上の理由による流出時刻制約のため、当日早朝に出発する際、流出予定時刻が割引終了時刻から一定範囲内であれば、割引が受けられるよう早発する行動原理である。例えば、図-9のように、トリップ距離が300kmで、長時間休憩の三角形領域の斜辺に近い8時台に流出を希望する車両を考える。この場合、制限速度で走行するなら5時台に流入すれば良い計算になるが、1時間程度であれば割引を受ける動機が勝って早発し、その分を時間調整することで長時間休憩が多くなると考えられる。トリップ距離が300kmでは、9時台以降に長時間休憩の割合が減少するが、これは流入時刻を早発する範囲、言い換えれば、割引時間帯の引き込み領域に一定の限界があるためと考えられる。

仮にこの引き込み領域の時間幅が距離帯によって変わらないのであれば、赤い三角形領域の斜辺は図-9の100km/hの傾きの点線に沿って現れることになるが、実際にはこれよりも緩やかな傾きで現れている。これは、距離帯が短くなれば、走行時間も短くなり、かつ、通行料金及び割引額も小さくなるので、早発のための大幅な時間調整をする動機付けが小さくなることで、引き込み領域の幅が小さくなることを示唆している。引き込み領域の幅は、三角形領域の斜辺の傾きが40km/h程度である

こと、また2時間を超える長距離運転では疲労防止のための休憩の必要性⁷⁾も増し、制限速度で走行する場合の予定流入時刻よりも早い時刻を選択することを踏まえると、図-10のように300km以上の距離帯で長くても2時間程度と推察される。

(5) 通常休憩行動の把握

図-11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し、各セルで60分より長く休憩をしたトリップのパーセンタイル値を色分けしたコンター図である。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。この場合は、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る。

これらはそれぞれ昼食時間帯及び夕食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顕れたと解釈できる。トリップ距離が長いほうが60分超の休憩になる割合が多くなるのは、食事時間帯において、流出ICまでの距離が短ければ、休憩せずに高速道路外で食事を取る選択肢もあるが、距離が長い場合は休憩施設で食事を摂るほかなく、前後の時間帯より相対的に長い休憩をする割合が高くなるためと考えられる。また、トリップ距離が長いほど、食事休憩をした場合に、その場所から長い距離を走ることが多くなり、流出時刻が後の方になるため、この図のように流出時刻をベースにすると、左側が食事時間帯に切り立った非対象の三角形領域が現れる。なお、大型車では昼食および夕食に相当する休憩が小型車と比べて明確には確認できないのは、大型車の高速道路利用が深夜・早朝の時間帯に多いためと考えられる。

(6) 休憩行動実態分析のまとめ

本章では、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、車種別及び平日別に分析した。その結果、200kmを超える距離帯で深夜割引を受けるためや業務開始時刻に合わせるための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が確認できた。

5. 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-12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

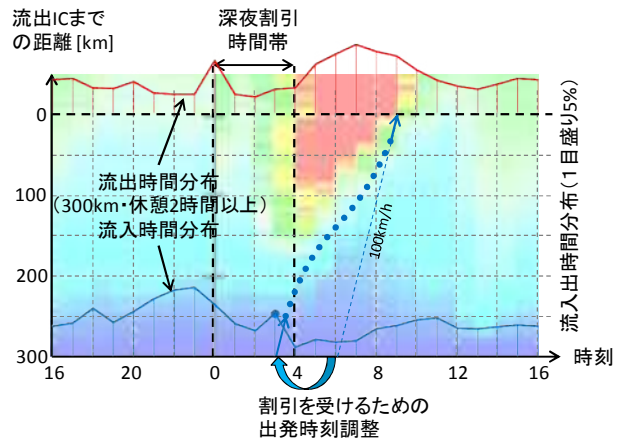


図-9 深夜割引を受けるための早発に伴う時間調整 (トリップ距離 300km の場合)

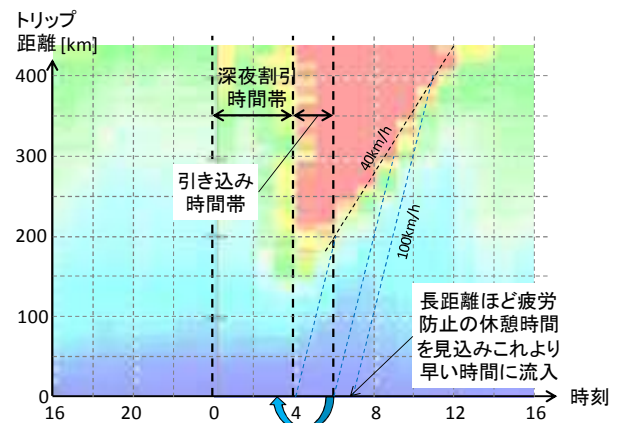


図-10 深夜割引を受けるための早発引き込み時間帯

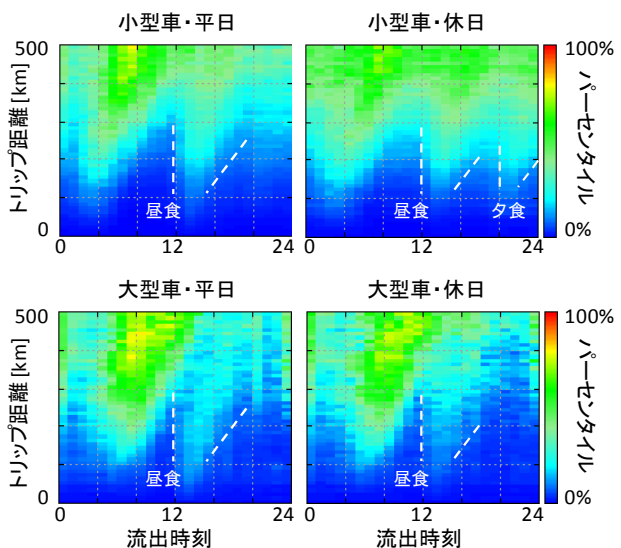


図-11 推定休憩時間 60分超のパーセンタイル値コンター図

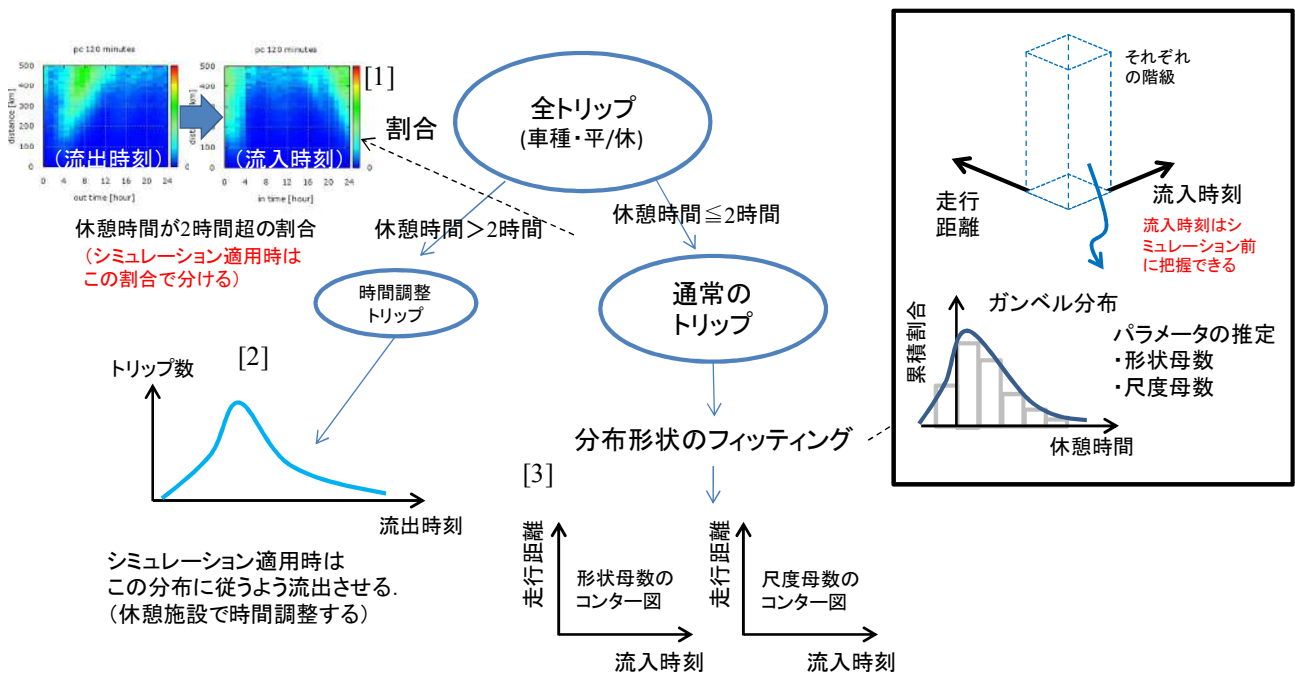


図-12 休憩行動マクロモデルの概略構成

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。なお、図-12では次節(2)で後述するとおり、休憩時間はガンベル分布に従うとして、形状母数と尺度母数の2つのパラメータを決めるコンターマップを用意するイメージを示した。ガンベル分布はマイナス側にも分布するが、その場合は「休憩しない」とする。

なお、本稿で報告するのは [3] の通常休憩に関するモデル化のみであり、[2] の長時間休憩に関するモデル化については別途報告することとしたい⁸⁾。

(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 α と形状パラメータ β は、出発時間帯別、距離帯別のマップとして用意される。図-13に平日の小型車トリップに対するパラメータマップ

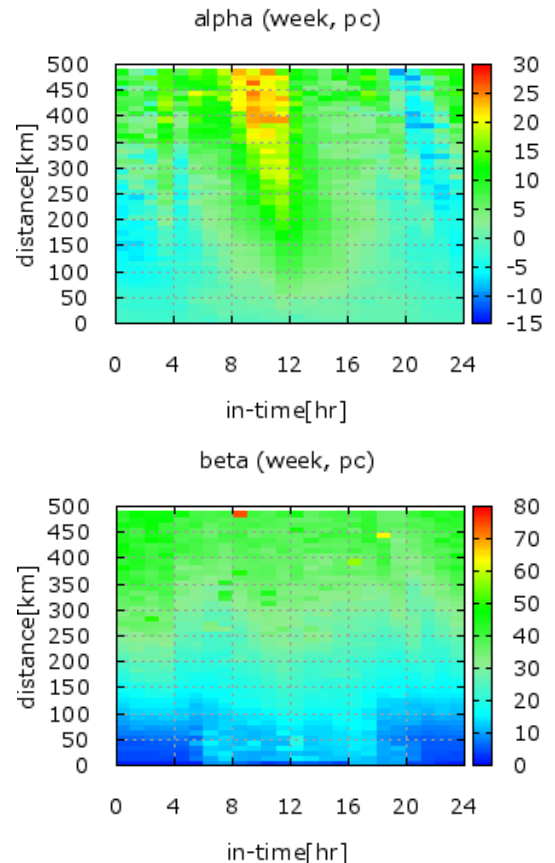


図-13 ガンベル分布でフィッティングした通常休憩時間確率分布のパラメータマップ (小型車・平日)

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-14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。

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

ここで、

$f(x)$: 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 γ 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。

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

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

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、「休憩しない」確率 G_0 は、赤青両ハッチングの合計面積として次式で示される。

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

図-15に平日・小型車トリップの「休憩しない」確率分布を示した。

6. 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 α と β 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。

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

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

ここで、

α : オフセットパラメータ

β : 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_t : $x=t$ の時の累積ガンベル分布の値 (ここでは $t=120$ 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。

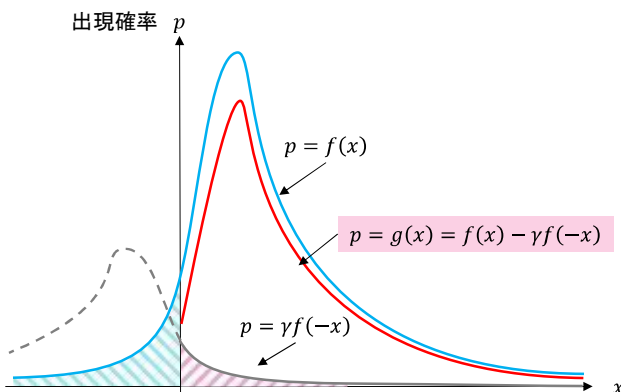


図-14 休憩時間分布における誤差の影響

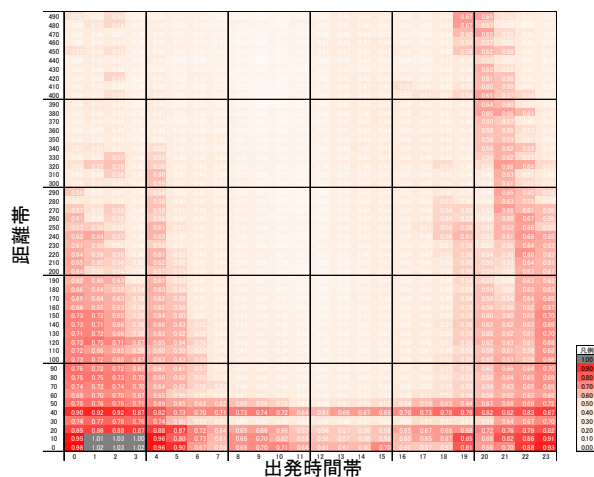


図-15 「休憩しない」確率マップ (小型車・平日)

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、 $r \doteq G(x)$ となる x を数値探索で求め、休憩時間とする。

図-16に、休憩時間実績値の相対累積頻度分布と、これをフィッティングしたガンベル分布パラメータに基づいて、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（以下、マクロモデル）を、平日の16時台に高速道路に流入する場合で車種別・距離帯別にグラフで示した。実績値のグラフもマクロモデルと同様に、式(1)～(4)に従って切片をスケールしている。ここでは s を小型車で0.3、大型車で0.2と仮定した。

実績値もマクロモデルのいずれも、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。しかしながら、マクロモデルの休憩しない確率は、実績値のそれよりも大きく推計されており、フィッティングで得られた分布では、マイナス側の休憩時間になる割合が過大になっているか、もしくは、ここで仮定したパラメータ s （平均速度よりも遅い車両の割合）が大きすぎたことを示している。特に、大型車で250kmを超える長距離帯では、この過大推計によって、通常休憩する確率がゼロになっており、適正な分布形が

得られていない。個別車両の速度のばらつきが休憩時間の推計精度に及ぼす影響の精査については、今後の課題として次章で述べる。

7. 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SAPA毎に休憩有無や休憩時間を決めるミ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

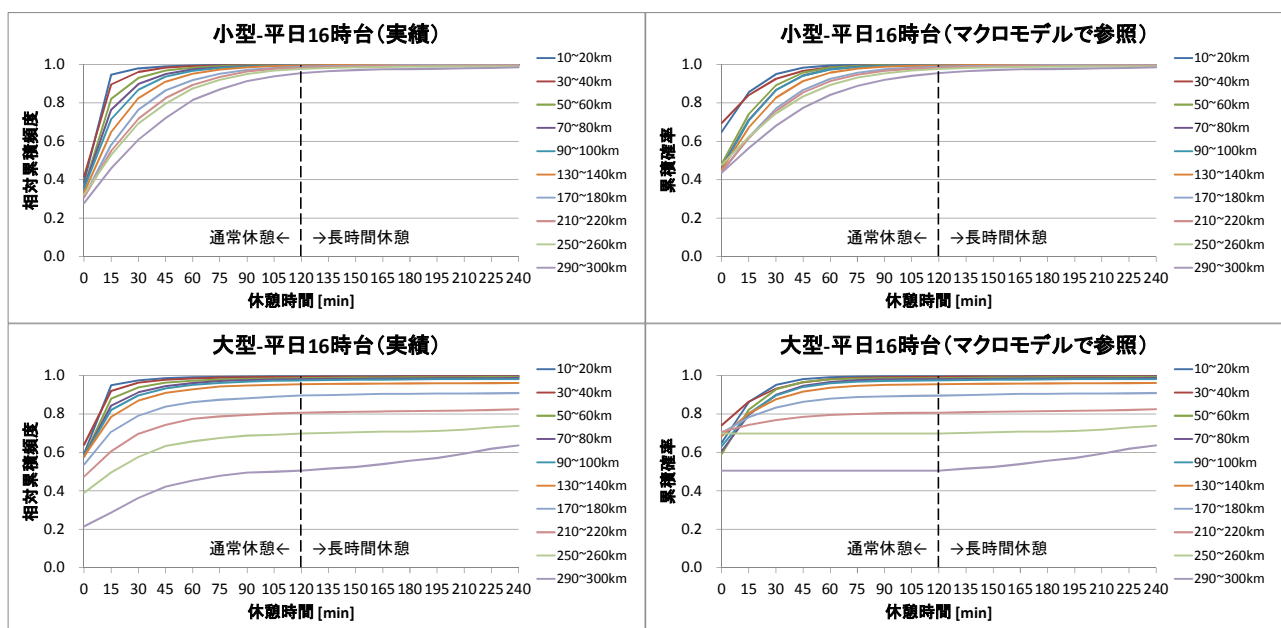


図-16 休憩時間実績値の相対累積頻度（左）とマクロ休憩行動モデルが参照する休憩時間累積確率分布（右）（16時台流入、上段：小型車・平日／下段：大型車・平日）

- 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) 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) JAFMATE ホームページ, <http://www.jaf.or.jp/qa/eco-safety/careful/04.htm> (アクセス日: 2015.04.22).
 - 8) 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休憩時間推定マクロモデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.53 (CD-ROM), 2016.
- (2016. 2. 26 受付)

MODELING TOTAL RESTING TIME OF INTER-URBAN EXPRESSWAY USERS BASED ON THE ANALYSIS OF ETC TRIP DATA

Shoichi HIRAI, Jian XING, 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 first analyze driver's total resting time during their trips utilizing ETC trip data and vehicular detector data, and then propose a macroscopic model framework of the total resting time based on the analysis results. Finally future subjects on the application of the proposed model are discussed.