

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

瀬谷 創¹, 張 峻屹², 力石 真³, 藤原 章正⁴, 向江 達彦⁵

¹正会員 広島大学 大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: hseya@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 広島大学 大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 広島大学 大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

⁴正会員 広島大学 大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

⁵非会員 広島大学 ASMOセンター (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: b116202@hiroshima-u.ac.jp

本研究では、2013年10月～2014年3月に山陽道・中国（縦貫）道上を走行した1600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）データを用いて、山陽道のSA/PAの大型車用駐車場の混雑緩和への示唆を得るために、貨物車のSA/PA利用実態の把握を試みる。時間・空間両方の情報を含むという本データの特長により、SA/PAの選択行動だけでなく、利用行動（停車時間）の分析が可能となる。これにより特に長時間停車の状況をアンケート調査と比較して正確に把握することができる。また、半年間という比較的長期間にわたるデータであるため、同一車両の繰り返し行動（習慣）についても分析を行うことが可能である。本研究では、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、SA/PAのサービス水準や時々刻々と変化する個々の車両の状況が、SA/PAの選択・利用行動に与える影響について分析を試みた。分析の結果、①「貨物車・トレーラー用の駐車場台数の増大」と、過去の経験が駐車場選択に強い影響を持つため、②「転換先となりうるSA/PAに関する情報提供」の有用性が示唆された。

Key Words: digital tachograph data, freight car, SA/PA, Sanyo and Chugoku express way, discrete-continuous model, copula

1. はじめに

本研究では、山陽自動車道（以下、山陽道）のSA/PA（サービスエリア・パーキングエリア）の大型車用駐車場の混雑緩和への示唆を目的として、将来的な山陽道、中国縦貫自動車道（以下、中国道）における経路選択モデルとの統合を視野に入れ、2013年10月～2014年3月に山陽・中国道上を走行した1600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）データを用いて、貨物車のSA/PAの選択行動・利用行動モデルの構築を試みる。

SA/PAは、経路選択における重要な要素と成り得るものの、その選択・利用行動に関して現在までに得られている研究知見は非常に限られている。いくつかの例外と

して、まず、大蔵・江頭(1992)は、1950～60年代の交通工学の黎明期に盛んに研究された指数分布による駐車時間分布のモデル化研究に基礎をおき、SA/PAにおける駐車時間を、アーラン分布に基づく合成分布として表現し、十分な精度での再現性を確認している。椎野ら(2011)は、SA/PAの出入口に設置されたSA路側無線アンテナログデータと、休憩施設実態調査、アンケートデータに基づき、休憩施設の立寄り特性に関する分析を行っている。その結果、当該SA/PAの施設や、その前後のSA/PAの施設の規模や施設内容、および渋滞の発生が立寄率に大きく影響することを明らかにした。松下ら(2011)は、SA/PA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

重回帰モデル) を構築した。その結果、前者については、ln(連続走行時間(分))、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. (2014) 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、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。

これらの研究では、椎野ら(2011) が、SA路側無線アンテナログデータを用いている以外は、基本的に普通車を対象とし、調査データを用いている。一方で本研究は、[1] 貨物車に着目し、[2] 大規模な観測データを用い、[3] SA/PAの選択・利用行動を離散・連続モデルを用いて同時にモデル化している点に特徴がある。すなわち、時間・空間両方の情報を含むという本データの特長により、SA/PAの選択行動だけでなく、利用行動(停車時間)の分析が可能となる。これにより特に長時間停車の状況をアンケート調査と比較して正確に把握することができる。また、半年間という比較的長期間にわたるデータであるため、同一車両の繰り返し選択(習慣)についても分析を行うことが可能である。

本研究では、拡張されたType IIトビット(Heckman sample selection)型の離散・連続モデルを用いて、SA/PAのサービス水準や時々刻々と変化する個々の車両の状況が、SA/PAの選択・利用行動に与える影響を明らかにする。ここで、「拡張」の意味は、二つある。まずは、選択行動・利用行動の依存関係を、二変量正規分布にとらわれず、コピュラ関数(例えば、桑野ら, 2010; 福本・後藤, 2011; Zhang et al., 2012)を用いて柔軟に記述している点であり、もう一点は、関数形の非線形性を考慮している点である(Marra and Radice, 2013)。後者は、例えば連続走行距離や過去の利用経験が、ある一定の値を超えると、SA/PA停車確率が一気に高まるような非線形効果の考慮を目指したものである。

以下、第二章では、本研究で用いるモデルを導入する。続いて、第三章では、本研究で用いるデジタコデータとその処理について説明し、その後実証分析の結果を示す。最後に第四章で本研究をまとめる。

2. 本研究で用いるモデル

(1) Type II tobit (sample selection) model

本研究では、まず次式に示される古典的なType IIトビットモデルを導入する(Amemiya, 1985)。

$$s_{ik} = 1(z'_{ik}\gamma + u_{ik} > 0), \quad (1)$$

$$y_{ik}^* = x'_{ik}\beta + \sigma\varepsilon_{ik}, \quad (2)$$

$$y_{ik} = \begin{cases} y_{ik}^* & \text{if } s_{ik} = 1 \\ \text{NA} & \text{if } s_{ik} = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

ここで、 $1(\cdot)$ は指示関数、 $i(i=1, \dots, I)$ は車両ID、 $k(k=1, \dots, K_i)$ は当該車両のトリップID、 z_{ik} と x_{ik} はそれぞれ説明変数ベクトルであり、 γ と β は、それらに対応する回帰係数ベクトルを示す。 σ は、スカラーパラメータ(誤差標準偏差)、NAは欠損値である。ここで、誤差項 u_{ik} と ε_{ik} が独立でないとき、 $s_{ik}=1$ のサブサンプルのみを用いた β のOLS推定値は、バイアスを持つ。これが、いわゆるサンプルセレクションバイアスの問題である。

このようなセレクションバイアスを避けるために、次式の尤度関数の最大化を試みる完全情報最尤法が提案されている。(Heckman, 1979; Van der Klaauw and Koning, 2003; Hasebe, 2013)。

$$L = \prod_{i=1}^I \prod_{k=1}^{K_i} \left[\int_{-\infty}^{z'_{ik}\gamma} f_u(u) du \right]^{s_{ik}=0} \left[\int_{-z'_{ik}\gamma}^{\infty} f_u(u, \varepsilon_{ik}) d\varepsilon \right]^{s_{ik}=1}, \quad (4)$$

ここで、 f_u は、 u の確率密度関数、 $f_{u,\varepsilon}$ は、 u と ε の二変量確率密度関数である。 f_u と $f_{u,\varepsilon}$ に正規分布を仮定するのが、最も標準的なアプローチであるが、この仮定からの違背は一致性を推定量の一致性を失わせるため(Vella, 1998)、本研究では、より柔軟性を持った誤差相関の構造化手法を採用する。

(2) Copula-based sample selection model

式(5)は、コピュラを用いて、次式のように表現できる(Bhat and Eluru, 2009; Hasebe and Vijverberg, 2011; McGovern et al., 2015)。

$$L = \prod_{i=1}^I \prod_{k=1}^{K_i} \left(\left[\frac{F_u(-z'_{ik}\gamma)}{F_u(-z'_{ik}\gamma)} \right]^{s_{ik}=0} \cdot \left[\left(1 - \frac{\partial}{\partial F_\varepsilon} C(F_u(-z'_{ik}\gamma), F_\varepsilon(\varepsilon_{ik}); \theta) \right) \cdot f_\varepsilon(\varepsilon_{ik}) \right]^{s_{ik}=1} \right), \quad (5)$$

ここで、 F_u 、 F_ε はそれぞれ、 u 、 ε の累積分布関数、 $C(F_u, F_\varepsilon; \theta)$ はコピュラ関数である(θ はコピュラのパラメータベクトル)。コピュラを用いると、確率変数 ω 、 ω の同時分布 $F_{12}(\omega, \omega)$ を、周辺分布 F_1 、 F_2 を用いて¹、 $F_{12}(\omega, \omega) = C(F_1, F_2; \theta)$ と与えることができる。すなわち、コピュラは、周辺分布間の依存関係を記述する関数である。いくつかの代表的なコピュラ関数は、表1のように

¹ $F_1(\omega) = F_1$ 、 $F_2(\omega) = F_2$ と略記している。

表 1: 代表的なコピュラ

Copula	$C(F_1, F_2; \theta)$, (ρ は相関係数)
Normal(N)	$\Phi_2(\Phi^{-1}(F_1), \Phi^{-1}(F_2); \rho)$
Frank(F)	$-\theta^{-1} \ln \left(1 + \frac{(e^{-\theta F_1} - 1)(e^{-\theta F_2} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)} \right)$
Clayton(C)	$(F_1^{-\theta} + F_2^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}$
Joe(J)	$1 - \left((1 - F_1)^\theta + (1 - F_2)^\theta - (1 - F_1)^\theta (1 - F_2)^\theta \right)^{1/\theta}$
Gumbel(G)	$\exp \left(\left(-\ln F_1 \right)^\theta + \left(-\ln F_2 \right)^\theta \right)^{1/\theta}$

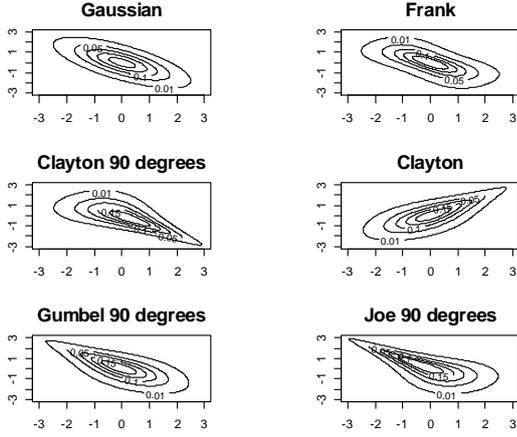


図 1: コピュラの等高線
(ケンドールのタウ= -0.5 (Claytonは 0.5))

まとめられる. ここで, 正規コピュラを採用したとき, 通常の Type II トビットモデルが得られる.

さて, θ のとりうる値には範囲があり, Frank $(-\infty, \infty)$, Clayton $[0, \infty)$, Gumbel $[1, \infty)$, Joe $[1, \infty)$ となっている. すなわち, Clayton, Gumbel, Joe の 3 関数は, そのままでは正の依存関係しか表現できない. 一方で, SA/PA の選択と利用の依存関係は, アプリオリに正とは判断できないであろう. そこで, これらの関数については, 負の依存関係を, 分布の回転 (90 度) によって表現する (McGovern et al., 2015) (図 1 参照) ².

$$C_{90} = F_2 - C(1 - F_1, F_2; \theta). \quad (6)$$

(3) Copula-based semiparametric sample selection model

以下, (2) 節のモデルを, 非線形性を考慮する形で拡張する. 具体的には, 式 (1), (2) を, 次式のように定式化し直す (Marra and Radice, 2013) .

$$s_{ik} = 1(z'_{ik}\gamma + f_1(z_{1,ik}) + f_2(z_{2,ik}) + \dots + u_{ik} > 0), \quad (1)^*$$

$$y_{ik}^* = \mathbf{x}'_{ik}\beta + f_1(x_{1,ik}) + f_2(x_{2,ik}) + \dots + \sigma\varepsilon_{ik}, \quad (2)^*$$

ここで, $f_m(\cdot)$ は非線形効果をとらえる平滑化関数である. 本モデルは, 通常の線形効果と平滑化効果を含むため, セミパラメトリックモデルとなっている. ここで, 基底関数 $b_{mj}(\cdot)$ の線形和として m 番目の変数の非線形効果を表現すれば,

$$f_m(\cdot) = \sum_{j=1}^{J_m} b_{mj}(\cdot) \cdot \xi_{mj} = \mathbf{b}'_m(\cdot) \boldsymbol{\xi}_m, \quad (7)$$

が得られる. ただし, J_m は基底関数の数であり, \mathbf{b}_m は b_{mj} からなるベクトル, $\boldsymbol{\xi}_m$ は, 対応する j 番目の係数パラメータ ξ_{mj} からなるベクトルである. 基底関数としては, 例えば薄板スプライン (thin plate spline) (Wood, 2006) を用いる. 式 (7) を用いると, (1) ^{*} (2) ^{*} は,

$$s_{ik} = 1(z'_{ik}\gamma + \mathbf{B}'_{1ik}\boldsymbol{\varepsilon}_1 + u_{ik} > 0), \quad (1)^{**}$$

$$y_{ik}^* = \mathbf{x}'_{ik}\beta + \mathbf{B}'_{2ik}\boldsymbol{\varepsilon}_2 + \sigma\varepsilon_{ik}, \quad (2)^{**}$$

とコンパクトに表現することができる. ただし, \mathbf{B}'_{1ik}

は $\mathbf{b}'_m(x_{m,ik})$ から, \mathbf{B}'_{2ik} は $\mathbf{b}'_m(z_{m,ik})$ からなるベクトルであり, $\boldsymbol{\varepsilon}_1, \boldsymbol{\varepsilon}_2$ は, 対応する回帰係数ベクトルである.

このとき, $\eta_{1ik} = z'_{ik}\gamma + \mathbf{B}'_{1ik}\boldsymbol{\varepsilon}_1$ と置けば, 尤度関数は,

$L =$

$$\prod_{i=1}^I \prod_{k=1}^{K_i} \left[\left(\left[F_u(-\eta_{1ik}) \right]^{s_{ik}=0} \cdot \left[1 - \frac{\partial}{\partial F_\varepsilon} C(F_u(-\eta_{1ik}), F_\varepsilon(\varepsilon_{ik}); \theta) \right] \cdot f_\varepsilon(\varepsilon_{ik}) \right)^{s_{ik}=1} \right] \quad (5)^{**}$$

と書き直せる.

パラメータ推定は, データへのオーバーフィット (過学習) を防ぐために, $\ln(L)$ に, 罰則項を加えた次式の最大化によって行う.

$\ln(L_p) = \ln(L)$

$$- \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\tilde{M}} \lambda_{1m} [f''_m(x_m)]^2 dx_m - \frac{1}{2} \sum_{m=\tilde{M}+1}^M \lambda_{2m} [f''_m(z_m)]^2 dz_m \quad (8)$$

ただし, ここでのダッシュ (') は, 行列の転置ではなく微分を示す. 罰則付き対数尤度を最大化するためには, 当てはまりと平滑性のバランスをコントロールするパラメータ $\lambda_{1m}, \lambda_{2m}$ が, 既知である必要がある. したがってパラメータ推定は, 繰り返し計算によって行う. 具体的には, AIC に相当する Un-Biased Risk Estimator (UBRE) 指標による最適な $\lambda_{1m}, \lambda_{2m}$ の選択と, 罰則付き尤度関数 (8) の最大化を, パラメータ変化が微小になるまで繰り返し実行する (Marra and Radice, 2013) .

² 作図には, McGovern et al.(2015) の R コードを使用した.

3. 実証分析

(1) デジタコデータの概要

本研究で使用するデジタコデータは、2013年10月から2014年3月の半年間に、光栄システム株式会社の管理するデジタルタコグラフを搭載した1600台の車両から送信されたデータを蓄積したものである。元のデータは、車両の存在している地点における日時・GPS情報（経緯度）・オドメーター（総走行距離）値・エンジンの回転数、トリガ種別（6分ごとの定期的なデータか、エンジン入切時のデータかの判別）などの情報が、各車両6分おきに送信・蓄積されている。本研究では、そのデータから、山陽道・中国道を走行しているものを抽出し、分析に用いる。具体的には、山陽道・中国道が並行しており、経路選択が可能な『神戸JCT-山口JCT』を対象範囲とする（図2）。



図2：対象高速道路

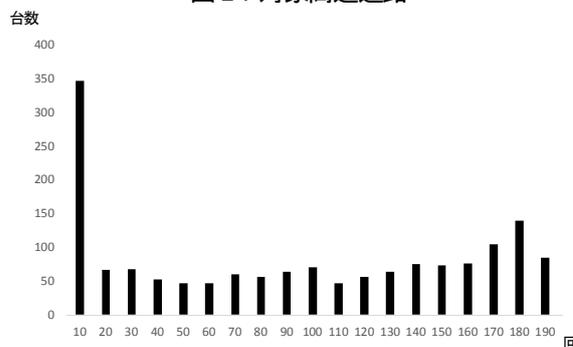


図3：同一車両利用回数

(2) デジタコデータの処理

本研究では、以下に示す流れで、デジタコデータの処理を行った。

- (1) 140,288個のcsvファイル（日付+車両ID）のデータを、車両IDを用いて1,600車両単位にグルーピング。各車両は、対象期間10回未満の使用が多いが、190回使用されている車両も存在する（図3）。
- (2) オリジナルファイルの緯度経度を10進数から60進数に変換。
- (3) ArcGISを用いた情報の加工：（モデルビルダーを用いて、以下を1600台分繰り返す）。
 - (ア) csvファイルのshapefileへの変換。
 - (イ) 『神戸JCT-山口JCT』間の高速道路を走行したデータの抽出。
 - (ウ) 最寄SA/PA（上り、下り別）情報の付加。
 - (エ) 最寄IC情報の付加。
 - (オ) 対象地域全SA/PAの通過時間とオドメーター値（上り下り別）情報の付加。
 - (カ) トリップ開始、位置のオドメーター値と時刻を付加。
 - (キ) 中国道、山陽道に入った位置におけるオドメーター値と時刻を付加。
- (4) SA/PAでの停車時間の計算：（Rによるプログラムで、以下を1600台分繰り返す）。
 - (ア) トリガ種別=28（車載器停止）のデータを抽出（トリガ=28により、トリップが切り替わ

表2：駐車時間の記述統計（左：下り，右：上り）

	Parking time (minute)	
	East to West	West to East
Mean	41.1	41.9
Median	30	30
Min	12	12
Max	672	834
Std. dev.	41.1	42.5
Kurtosis	94.2	121.0
Skewness	7.9	8.8
Observed samples	4912	5876
Missing samples	15003	17737

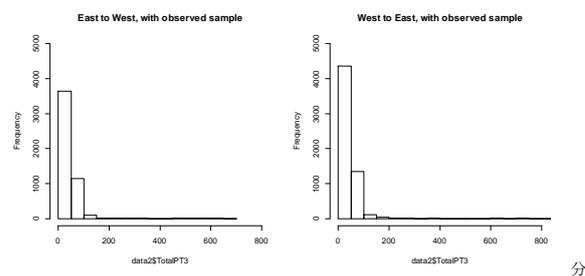


図4：駐車時間頻度分布（左：下り，右：上り）

ると仮定）→ トリップIDを付加³。

³車載器が停止されない場合もあるため、3時間観測がなければ、トリップ終了とする。

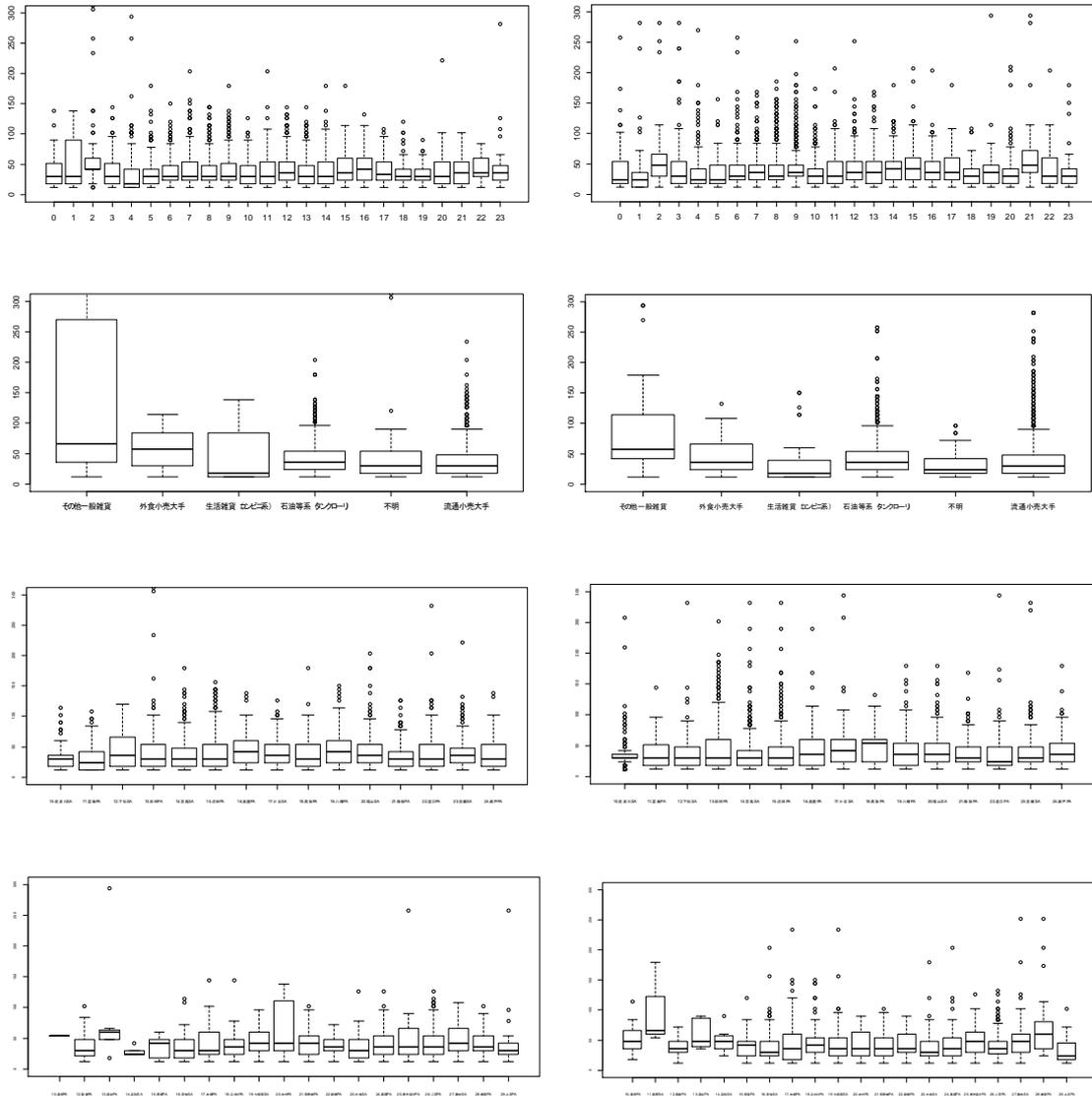


図5：駐車時間の箱ひげ図（左：下り，右：上り）
 （上から，時刻別，時刻別，業種別，山陽道 SA/PA 別，中国道 SA/PA 別）
 （ただし，縦軸は最大 300 分とした）

(イ) トリガ種別=37 の 6 分値 GPS データにおいて、オドメーター値が 6 分間変化していなければ、停止とみなす。その間の停止時間を計測。

(3) 集計分析

以下では、SA/PAへの駐車があったトリップのみを抽出し、分析に用いる。まず、上り、下り別に駐車時間を集計した結果について示す。サンプル数（駐車の有無：回）は、下り駐車有：4,912、通過（駐車無）15,003、上り駐車有：5,876、通過（駐車無）：17,737である。表2

に、駐車時間の記述統計を示す。平均は、上り下りそれぞれ41.4、41.1分となり、値は似通っている。しかし、長時間駐車に引っ張られて中央値の30分と乖離しており、参考程度の値である。最大値は10時間以上にも及んでいる。これは、睡眠や時間調整（夜にSA/PAに入り一晩を過ごし、朝に出発するなど）のケースである。図4に、駐車時間の頻度分布を、図5に、駐車時間の箱ひげ図を、上り・下り別、かつ時刻別、業種別、山陽道SA/PA別、中国道SA/PA別に示す（SA/PA毎のサンプル数は、表3）。図4より、頻度分布は正規分布とは程遠い形状をしていることが分かる。大きな値の頻度は非常に低いが（図4）、まれに出現している（図5）。中央値でみると、時刻間で大きな差は見られないが、業種間では比較的大きな差が見られる。すなわち、業種「生活雑貨」は、上

⁴6分間隔での観測のうち、実際のSA/PAへの到着・出発時刻は分からないため、6分内での一様分布と仮定して、簡易的に駐車時間に前3分、後3分、計6分を足して処理した。

表3：SA毎の利用数
(上：中国道，下：山陽道)

	上り	下り
10.湯田 PA	17	2
11.鹿野 SA	3	0
12.朝倉 PA	33	52
13.深谷 PA	8	7
14.吉和 SA	7	5
15.筒賀 PA	23	5
16.安佐 SA	141	74
17.本郷 PA	90	40
18.江の川 PA	109	52
19.七塚原 SA	158	151
20.本村 PA	15	16
21.帝釈峡 PA	108	112
22.新郷 PA	26	27
23.大佐 SA	78	82
24.真庭 PA	148	88
25.美作追分 PA	27	36
26.二宮 PA	304	227
27.勝央 SA	114	94
28.檜原 PA	35	26
29.上月 PA	35	39
合計	1479	1135

	上り	下り
10.佐波川 SA	243	161
11.富海 PA	72	75
12.下松 SA	87	73
13.玖珂 PA	498	336
14.宮島 SA	679	564
15.沼田 PA	715	609
16.奥屋 PA	165	91
17.小谷 SA	174	126
18.高坂 PA	151	105
19.八幡 PA	192	153
20.福山 SA	347	357
21.篠坂 PA	372	469
22.道口 PA	208	201
23.吉備 SA	347	294
24.瀬戸 PA	147	163
合計	4397	3777

り・下り両者について他の業種に比べて駐車時間が短い。SAPA別でみると、本データでは、山陽道では、上りの高坂PA、中国道では、上りの檜原PAにおいて駐車時間が長い傾向が見られた。

(4) モデル分析

本節では、モデル分析の結果を示す。

被説明変数となる駐車時間は、自然対数変換し、周辺分布は正規分布と仮定した⁵。説明変数としては、

- ・ 時刻ダミー (x of clock)
- ・ 過去の駐車経験(回)の対数⁶ (Ln(Experience))
- ・ 連続走行時間(分) (Continuous travel time)
- ・ IC到着時間までの残り時間(分) (Remaining travel time to destination)
- ・ 一つ前のSA/PAからの距離(km) (Distance from previous SA/PA)
- ・ 合流により一つ前のSA/PAが複数(ダミー) (Branch Confluence)
- ・ SA/PA選択時にレストランが営業時間内(ダミー) (Restaurant opening)
- ・ 貨物車、トレーラー用の駐車場台数(台) (# of parking space for freight cars)
- ・ コンビニ有無(ダミー) (Convenience store (w/o))
- ・ GS有無(ダミー) (Gasoline stand (w/o))
- ・ 店舗有無(ダミー) (Shop (w/o))
- ・ トイレ総数(ダミー) (# or toilet(total))
- ・ 業種(ダミー) (その他一般雑雑貨を基準とする)

を採用した。なお、本研究では、Ln(Experience)について、非線形性を考慮することとした⁷。

表4にパラメータの推定結果を示す。また、表5に、表1の各コンピュータを用いた場合のモデルの予測力 (BIC, AIC) を示す (ただし、90は90度の回転の意味)。

表5より、上り・下りともに、C90を用いた場合に、最良のAIC, BICが達成されたことが分かる。表4に Kendall's Tau を示したが、この値より、方程式間には負の相関が存在することが示唆された。したがって、selection過程を無視したOLS推定値にはバイアスが発生する。非線形性を考慮することで、AIC, BICでみた予測力は大きく改善している。

⁵他の分布の適用については今後の課題としたい。

⁶0の対数変換には、微小値0.05を足すことで簡便に処理した。

当該変数は、トリップ数で序して基準化する検討も行ったが、結果はほとんど変わらなかったため、直接用いる。

⁷連続走行時間については、安定した結果を得られなかったため、非線形の考慮は行わなかった。

表3：AICとBIC算出結果
(上：上り，下：下り)

	BIC	AIC
N	27635.84	26974.14
C	NA	NA
C90	27582.24	26920.54
J	27615.21	26953.51
J90	27636.13	26974.42
G	27621.04	26959.33
G90	NA	NA
F	27619.51	26957.81

	BIC	AIC
N	23056.18	22408.45
C	23043.85	22396.11
C90	23030.38	22382.65
J	23050.22	22402.48
J90	23056.59	22408.85
G	23052.57	22404.83
G90	NA	NA
F	23053.39	22405.66

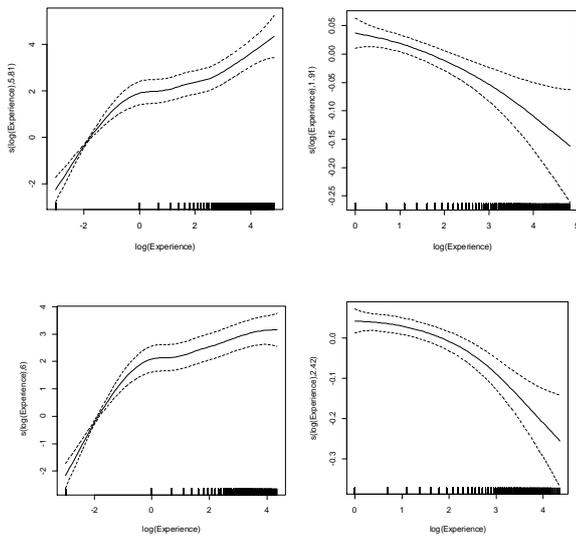


図6：パラメータ推定結果
(上：上り，下：下り)

(左：選択モデル，右：アウトカムモデル)

表4より，まずselectionモデルでは，下りでは時刻ダミーが有意になりやすい傾向がみられ，特に22時～2時の夜間で正の（最低でも10%水準で）有意な影響がみられた。一方上りでは，3時（負），12時（正），17時（正），22時（正）といった特定の時刻を除き，全体的に5%水準以上での有意な影響はみられなかった。過去の駐車経験の対数は，1%水準で非常に強い正の影響を

示した。したがって，経験の蓄積が，SAPA行動に大きな影響を及ぼしていることが示唆される。このことは，図6に示した非線形効果を見ても理解できる。すなわち，経験が増えるほど，駐車確率に与える影響は増加する傾向にあるが，特に経験が0と1では，影響に大きな差があることが分かる（ただし図の横軸は対数）。逆に言えば，現状混雑度合いが低く，転換先として受け入れ余地の大きいSAPAについて情報提供を行い，ドライバーに駐車利用を経験してもらう方が有効である可能性がある。

連続走行距離が負となった点は必ずしも直感と一致しないが，これはIC入口からの距離が正ではなく，負の影響になるというNishii et al (2014)の結果と類似している。一方で，当該変数は，利用時間には，1%水準で有意に正の影響を与えている。したがって，連続走行距離が長いほど，時間調整を含む長時間休憩を行う傾向があるといえる。IC到着時間までの残り時間は，駐車有無にはあまり有意に作用しなかったが，駐車時間には正の影響を与えた。一方で，一つ前のSAPAからの距離は，駐車有無には1%水準で負，駐車時間には正（非線形モデルのみ5%水準で有意）の影響を与えた。これについては，次のSAPAまでの距離が長いことをドライバーが認識していれば，事前に休憩行動をとる可能性が考えられるため，この行動が推定値に反映されたものと考えられることができる。合流により一つ前のSAPAが複数あることは，利用時間は影響を与えず，選択行動に1%水準で負の影響を与えることが示唆された。当該変数が1であるSAPAは，他のSAPAに比べて一定程度混雑が見込まれるため，混雑の代理変数として導入したものであるが，さらなる検証が必要である。SAPA選択時にレストランが営業時間内(ダミー)については，選択行動に関しては，負の符号が得られ，利用時間に関しては1%水準で正の符号が得られた。したがって，「レストランが開いているかはそれほど気にしないが，開いていれば利用するため，駐車時間は長くなる」といった解釈がなりたとう。施設の内では，店舗有無が選択行動に1%水準で正の有意な影響を持ち，他の施設の影響はおおむね負となった。利用時間については，正負とも施設の影響はあまり強くなかったが，トイレ総数が，正でかつ1%水準で正に有意となった。一方で，施設魅力度は，混雑を発生させるため，混雑変数を取り入れ，効果を識別することが課題である。業種は，選択，利用ともに基準となるその他一般雑貨より少ないという結果が得られた。これは，図5にも現れている通りである。

興味深い結果として，大型車の駐車場台数は，選択行動に1%水準で正の影響を与える一方で，利用時間に与える影響は負となった点が挙げられる。これにより，SAPAの大型車による混雑の緩和に，駐車場台数の増大が効果的である可能性が示唆されたといえる。

表 4-1: パラメータ推定結果 (West to East : 上り)

	OLS		Sample selection (Normal)		Sample selection (C90)		Semiparametric sample selection (C90)	
			Selection model					
	Coef.	t	Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
(Intercept)			0.2858	1.86 .	0.2403	1.55	-1.036	-3.35 ***
1 o'clock			0.2699	1.59	0.2464	1.44	0.3400	1.71 .
2 o'clock			-0.2374	-1.23	-0.2574	-1.33	-0.2822	-1.36
3 o'clock			-0.4103	-2.86 ***	-0.4004	-2.80 **	-0.4180	-2.69 **
4 o'clock			-0.2422	-1.80 .	-0.2298	-1.71 .	-0.2350	-1.59
5 o'clock			-0.1787	-1.35	-0.1844	-1.39	-0.2161	-1.48
6 o'clock			-0.1083	-0.87	-0.1211	-0.98	-0.1367	-0.99
7 o'clock			0.0584	0.47	0.05209	0.42	0.01555	0.11
8 o'clock			0.2208	1.77 .	0.2169	1.75 .	0.2559	1.83 .
9 o'clock			0.1500	1.17	0.1370	1.08	0.1552	1.09
10 o'clock			0.2023	1.57	0.2117	1.65 .	0.1936	1.35
11 o'clock			0.1715	1.36	0.1757	1.39	0.1280	0.91
12 o'clock			0.2810	2.22 *	0.2829	2.24 *	0.2407	1.71 .
13 o'clock			0.2323	1.83 .	0.2390	1.89 .	0.1908	1.35
14 o'clock			0.1293	1.02	0.1405	1.12	0.08956	0.64
15 o'clock			0.2401	1.91 .	0.2443	1.95 .	0.2336	1.66 .
16 o'clock			0.2211	1.68 .	0.2197	1.67 .	0.2202	1.51
17 o'clock			0.2631	1.89 .	0.2807	2.02 *	0.3068	1.99 *
18 o'clock			-0.1426	-1.02	-0.1292	-0.93	-0.09073	-0.59
19 o'clock			-0.06936	-0.48	-0.03572	-0.25	0.01159	0.07
20 o'clock			0.1053	0.76	0.1365	0.99	0.2733	1.74 .
21 o'clock			0.1276	0.76	0.0926	0.55	0.08958	0.50
22 o'clock			0.4388	2.22 *	0.4629	2.36 *	0.5294	2.30 *
23 o'clock			0.06408	0.39	0.08830	0.53	0.09325	0.50
Log(Experience)			0.5529	70.75 ***	0.5516	70.87 ***		
Continuous travel time			-0.0008848	-11.14 ***	-0.0009110	-11.47 ***	-0.0009694	-11.76 ***
Remaining travel time to destination			-6.547E-07	-0.03	0.00006718	0.28	0.00005658	1.84 .
Distance from previous SA/PA			-0.01673	-6.12 ***	-0.01645	-6.07 ***	-0.01976	-6.83 ***
Branch Confluence			-0.2284	-6.37 ***	-0.2207	-6.21 ***	-0.2367	-6.16 ***
Restaurant opening			-0.1109	-2.42 *	-0.1236	-2.71 **	-0.1263	-2.64 **
# of parking space for freight cars			0.007454	6.99 ***	0.007560	7.13 ***	0.01091	9.64 ***
Convenience store (w/o)			-0.2177	-5.47 ***	-0.2029	-5.15 ***	-0.3372	-8.17 ***
Gasoline stand (w/o)			-0.02488	-0.66	-0.004559	-0.12	-0.06129	-1.56
Shop (w/o)			0.1603	3.70 ***	0.1498	3.47 ***	0.1526	3.28 **
# of toilet (total)			-0.007370	-3.52 ***	-0.007696	-3.71 ***	-0.01244	-5.53 ***
(CO)外食小売大手			-0.6424	-4.22 ***	-0.5642	-3.71 ***	-0.4297	-2.31 *
(CO)生活雑貨(コンビニ系)			-0.1290	-0.78	-0.09738	-0.58	-0.3048	-1.56
(CO)石油等系(タンクローリ)			-0.7341	-6.74 ***	-0.6789	-6.14 ***	-0.8128	-5.68 ***
(CO)不明			-0.8370	-6.79 ***	-0.7902	-6.35 ***	-0.9017	-5.83 ***
(CO)流通小売大手			-0.4571	-4.20 ***	-0.4188	-3.79 ***	-0.5072	-3.54 ***
							edf	ChiSq
f(Log(Experience))							5.81	637.20 ***
			Outcome model					
			Coef.	t	Coef.	z	Coef.	z
(Intercept)			4.319	39.90 ***	4.335	38.72 ***	4.413	40.93 ***
1 o'clock			-0.1288	-1.13	-0.1332	-1.17	-0.1625	-1.44
2 o'clock			0.2368	1.70 .	0.2400	1.72 .	0.2482	1.77 .
3 o'clock			0.1917	1.95 .	0.1971	2.00 *	0.2252	2.29 *
4 o'clock			-0.1091	-1.20	-0.1060	-1.17	-0.08424	-0.93
5 o'clock			-0.1330	-1.46	-0.1310	-1.45	-0.1164	-1.28
6 o'clock			-0.06064	-0.72	-0.05975	-0.71	-0.05029	-0.60
7 o'clock			-0.05011	-0.60	-0.05164	-0.62	-0.06174	-0.74
8 o'clock			0.01466	0.17	0.01132	0.13	-0.01501	-0.18
9 o'clock			0.07174	0.83	0.0693	0.80	0.05437	0.63
10 o'clock			-0.2356	-2.67 **	-0.2392	-2.71 **	-0.2709	-3.07 **
11 o'clock			-0.1541	-1.77 .	-0.1572	-1.80 .	-0.1892	-2.17 *
12 o'clock			-0.08470	-0.97	-0.08942	-1.03	-0.1341	-1.54
13 o'clock			-0.1105	-1.26	-0.1145	-1.30	-0.1559	-1.78 .
14 o'clock			0.04194	0.48	0.03941	0.45	0.01574	0.18
15 o'clock			0.04219	0.49	0.03801	0.44	-0.001764	-0.02
16 o'clock			-0.01548	-0.17	-0.01958	-0.22	-0.05787	-0.64
17 o'clock			0.01127	0.12	0.006622	0.07	-0.04557	-0.48
18 o'clock			-0.1202	-1.25	-0.1187	-1.24	-0.1071	-1.11
19 o'clock			-0.06217	-0.64	-0.06134	-0.63	-0.06365	-0.65
20 o'clock			-0.05355	-0.59	-0.05386	-0.60	-0.06031	-0.67
21 o'clock			0.3009	2.69 **	0.2989	2.68 **	0.2845	2.56 *
22 o'clock			0.08042	0.61	0.07363	0.56	0.009300	0.07
23 o'clock			0.05741	0.50	0.05528	0.48	0.02707	0.24
Log(Experience)			0.01015	1.36	0.002481	0.16	-0.05793	-6.21 ***
Continuous travel time			0.0002874	5.10 ***	0.0002998	4.95 ***	0.0004065	7.09 ***
Remaining travel time to destination			0.00007770	4.62 ***	0.00007758	4.62 ***	0.00006729	4.11 ***
Distance from previous SA/PA			0.0002848	0.14	0.0005859	0.28	0.003288	1.58
Branch Confluence			-0.04547	-1.62	-0.04152	-1.44	-0.00848	-0.29
Restaurant opening			0.1121	3.46 ***	0.1139	3.51 ***	0.1345	4.09 ***
# of parking space for freight cars			-0.003583	-4.40 ***	-0.003714	-4.39 ***	-0.005033	-5.99 ***
Convenience store (w/o)			-0.0001402	-0.01	0.004579	0.16	0.04804	1.71 .
Gasoline stand (w/o)			0.002366	0.10	0.003385	0.14	0.01179	0.47
Shop (w/o)			-0.05798	-1.81 .	-0.06056	-1.87 .	-0.08176	-2.50 *
# of toilet (total)			0.003252	2.12 *	0.003365	2.18 *	0.004457	2.84 **
factor(CO)外食小売大手			-0.6585	-6.56 ***	-0.6488	-6.38 ***	-0.5752	-5.76 ***
factor(CO)生活雑貨(コンビニ系)			-1.182	-9.96 ***	-1.180	-9.97 ***	-1.155	-9.74 ***
factor(CO)石油等系(タンクローリ)			-0.7589	-10.05 ***	-0.7480	-9.60 ***	-0.6420	-8.50 ***
factor(CO)不明			-0.9522	-10.97 ***	-0.9400	-10.52 ***	-0.8161	-9.32 ***
factor(CO)流通小売大手			-0.9310	-12.30 ***	-0.9237	-12.05 ***	-0.8519	-11.35 ***
							edf	ChiSq
f(Log(Experience))							1.908	16.54 ***
Residual std error			0.610		0.608		0.589	
Rho / theta					-0.0420		0.467	
Kendall's Tau					-0.027		-0.189	
Adjusted R2			0.0805					
AIC					26974.14		26920.54	
BIC					27635.84		27582.24	
							26080.75	
							26788.59	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

表 4-2: パラメータ推定結果 (East to West : 下り)

	OLS		Sample selection (Normal)		Sample selection (C90)		Semiparametric sample selection (C90)	
	Coef.	t	Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
(Intercept)			-0.5804	-3.32 ***	-0.6114	-3.45 ***	-2.017	-6.41 ***
1 o'clock			0.4338	2.23 *	0.3874	1.98 *	0.3602	1.65 .
2 o'clock			0.4842	2.56 *	0.4511	2.40 *	0.6127	2.86 **
3 o'clock			0.1015	0.62	0.07155	0.44	0.05083	0.28
4 o'clock			0.1047	0.66	0.08410	0.54	0.05582	0.32
5 o'clock			0.1015	0.66	0.08941	0.59	0.06844	0.41
6 o'clock			0.1199	0.81	0.09016	0.61	0.08408	0.52
7 o'clock			0.3237	2.20 *	0.2912	1.99 *	0.2855	1.76 .
8 o'clock			0.3979	2.67 **	0.3715	2.52 *	0.4418	2.68 **
9 o'clock			0.2986	1.97 *	0.2738	1.83 .	0.3048	1.83 .
10 o'clock			0.2695	1.78 .	0.2529	1.68 .	0.2808	1.69 .
11 o'clock			0.3437	2.30 *	0.3188	2.15 *	0.3128	1.90 .
12 o'clock			0.3167	2.12 *	0.291	1.97 *	0.3039	1.85 .
13 o'clock			0.3762	2.49 *	0.3509	2.34 *	0.3326	2.00 *
14 o'clock			0.2855	1.90 .	0.2686	1.80 .	0.2457	1.49
15 o'clock			0.2941	1.96 *	0.2809	1.89 .	0.2879	1.75 .
16 o'clock			0.4345	2.77 **	0.4208	2.70 **	0.4500	2.60 **
17 o'clock			0.3423	2.08 **	0.3107	1.90 .	0.3698	2.05 *
18 o'clock			0.04136	0.25	0.01772	0.11	0.1195	0.67
19 o'clock			-0.05209	-0.31	-0.07326	-0.45	0.04175	0.23
20 o'clock			0.1978	1.23	0.1833	1.15	0.2180	1.25
21 o'clock			0.2473	1.37	0.2169	1.21	0.3349	1.72 .
22 o'clock			0.6898	3.28 **	0.6540	3.11 **	0.8288	3.15 **
23 o'clock			0.7557	4.16 ***	0.7367	4.08 ***	1.279	5.22 ***
Log(Experience)			0.5438	64.72 ***	0.5438	64.85 ***		
Continuous travel time			-0.0003649	-3.95 ***	-0.0003916	-4.25 ***	-0.0003861	-3.97 ***
Remaining travel time to destination			0.00004255	0.63	0.00006336	0.90	0.00002747	0.37
Distance from previous SA/PA			0.02906	11.71 ***	0.02863	11.62 ***	0.02921	11.39 ***
Branch Confluence			-0.4051	-10.68 ***	-0.3888	-10.37 ***	-0.3630	-9.05 ***
Restaurant opening			-0.1179	-2.49 *	-0.1239	-2.64 **	-0.1736	-3.46 ***
# of parking space for freight cars			-0.003013	-2.49 *	-0.002995	-2.48 *	0.0008549	0.66
Convenience store (w/o)			0.1944	4.99 ***	0.1824	4.68 ***	0.1941	4.72 ***
Gasoline stand (w/o)			0.4429	9.52 ***	0.4337	9.38 ***	0.5159	10.49 ***
Shop (w/o)			0.01396	0.35	0.009519	0.24	-0.02984	-0.69
# of toilet (total)			-0.002518	-1.17	-0.002198	-1.02	-0.01079	-4.65 ***
factor(CO)外食小売大手			-0.2830	-1.49	-0.2298	-1.20	0.5027	1.58
factor(CO)生活雑貨(コンビニ系)			-0.2805	-1.52	-0.2487	-1.33	-0.4705	-1.95 .
factor(CO)石油等系(タンクローリ)			-0.7293	-6.03 ***	-0.6644	-5.35 ***	-0.8745	-4.94 ***
factor(CO)不明			-0.6327	-4.51 ***	-0.5704	-3.99 ***	-0.8068	-4.17 ***
factor(CO)流通小売大手			-0.5794	-4.79 ***	-0.5203	-4.19 ***	-0.6585	-3.72 ***
						edf	ChiSq	
f(Log(Experience))						5.999	450.8 ***	
			Outcome model					
			Coef.	t	Coef.	z	Coef.	z
(Intercept)			4.266	34.72 ***	4.317	29.71 ***	4.506	35.76 ***
1 o'clock			0.2335	1.74 .	0.2221	1.65 .	0.1578	1.17
2 o'clock			0.6586	5.34 ***	0.6468	5.21 ***	0.5924	4.77 ***
3 o'clock			0.1529	1.35	0.1502	1.33	0.1250	1.09
4 o'clock			-0.09404	-0.87	-0.09693	-0.90	-0.1188	-1.09
5 o'clock			-0.01199	-0.11	-0.01487	-0.14	-0.04529	-0.42
6 o'clock			-0.04115	-0.40	-0.04489	-0.44	-0.06883	-0.66
7 o'clock			0.02685	0.26	0.01833	0.18	-0.02811	-0.27
8 o'clock			-0.04628	-0.45	-0.05596	-0.54	-0.1093	-1.03
9 o'clock			0.03007	0.29	0.02179	0.21	-0.03182	-0.30
10 o'clock			-0.1203	-1.14	-0.1279	-1.21	-0.1822	-1.69 .
11 o'clock			-0.09097	-0.87	-0.1004	-0.96	-0.1625	-1.53
12 o'clock			-0.01522	-0.15	-0.02423	-0.23	-0.07942	-0.75
13 o'clock			-0.0674	-0.64	-0.07791	-0.74	-0.1397	-1.30
14 o'clock			-0.00251	-0.02	-0.01042	-0.10	-0.06498	-0.61
15 o'clock			0.06691	0.64	0.05854	0.56	0.00009585	0.00
16 o'clock			0.1155	1.05	0.1039	0.94	0.03459	0.31
17 o'clock			0.01377	0.12	0.003893	0.03	-0.0504	-0.44
18 o'clock			-0.04249	-0.38	-0.04462	-0.40	-0.06064	-0.53
19 o'clock			-0.09882	-0.87	-0.09856	-0.87	-0.1061	-0.92
20 o'clock			0.09300	0.85	0.08745	0.80	0.05397	0.48
21 o'clock			0.1366	1.14	0.1302	1.08	0.09036	0.74
22 o'clock			0.1422	0.97	0.1244	0.83	0.03599	0.24
23 o'clock			0.2808	2.25 *	0.2612	2.04 *	0.1670	1.32
Log(Experience)			-0.01216	-1.41	-0.02534	-1.16	-0.07917	-6.92 ***
Continuous travel time			0.0002736	4.22 ***	0.0002834	4.28 ***	0.0003372	5.15 ***
Remaining travel time to destination			0.0003968	8.76 ***	0.0003954	8.75 ***	0.0003715	8.24 ***
Distance from previous SA/PA			0.00009729	0.06	-0.0006699	-0.34	-0.004261	-2.56 *
Branch Confluence			-0.1502	-5.33 ***	-0.1393	-4.27 ***	-0.09683	-3.29 ***
Restaurant opening			0.1380	4.04 ***	0.1418	4.10 ***	0.1678	4.82 ***
# of parking space for freight cars			-0.002992	-3.39 ***	-0.002906	-3.27 **	-0.002651	-2.97 **
Convenience store (w/o)			-0.03700	-1.39	-0.04232	-1.52	-0.06766	-2.49 *
Gasoline stand (w/o)			-0.005542	-0.17	-0.01733	-0.47	-0.07008	-2.08 *
Shop (w/o)			-0.02419	-0.85	-0.02504	-0.89	-0.02996	-1.05
# of toilet (total)			0.002905	1.88 .	0.002946	1.91 .	0.002981	1.90 .
factor(CO)外食小売大手			-0.4971	-4.08 ***	-0.4874	-3.98 ***	-0.4353	-3.62 ***
factor(CO)生活雑貨(コンビニ系)			-1.335	-10.16 ***	-1.328	-10.12 ***	-1.309	-10.15 ***
factor(CO)石油等系(タンクローリ)			-0.8304	-9.98 ***	-0.8121	-9.28 ***	-0.7200	-8.63 ***
factor(CO)不明			-0.9281	-9.38 ***	-0.9128	-9.01 ***	-0.8366	-8.43 ***
factor(CO)流通小売大手			-1.000	-12.00 ***	-0.9849	-11.43 ***	-0.9082	-10.94 ***
						edf	ChiSq	
f(Log(Experience))						2.424	30.13 ***	
Residual std.error			0.614		0.613		0.593	
Rho or theta					-0.0700		0.423	
Kendalls Tau					-0.0446		-0.175	
Adjusted R2			0.0939					
AIC					22408.45		22382.65	21566.19
BIC					23056.18		23030.38	22264.66

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

4. おわりに

本研究では、2013年10月～2014年3月に山陽道・中国（縦貫）道上を走行した1600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）データを用いて、山陽道のSA/PAの大型車用駐車場の混雑緩和への示唆を目的に、貨物車のSA/PA利用実態の把握を試みた。具体的には、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、SA/PAのサービス水準や時々刻々と変化する個々の車両の状況が、SA/PAの選択・利用行動に与える影響について分析を試みた。

分析の結果、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が得られた。したがって、SA/PAの大型車による混雑の緩和に、駐車場台数の増大という方策が効果的である可能性がある。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と1では、影響に大きな差があることが分かった。したがって、現状混雑度合いが低く、転換先として受け入れ余地の大きいSA/PAについて企業やドライバーに情報提供を行い、駐車利用を経験してもらおう方策が有効である可能性が示唆された。

今後の課題としては、混雑の考慮と、MDCEVモデルを用いてSA/PAのサービスレベルをログサム変数で表現し、経路選択モデルと統合することが挙げられる。

謝辞

本研究は、NEXCO西日本との共同研究の一環として実施したものである。

参考文献

1. 大蔵泉, 江頭正州: 高速道路休憩施設における駐車時間分布に関する研究, *IATSS Review*, Vol.18, No.1, pp.75682, 1992.
2. 桑野将司, 藤原章正, 塚井誠人, 張 峻屹, 岩本真由子: コピュラを用いた自動車保有期間と走行距離の同時決定モデルの開発, *土木学会論文集 D*, Vol.66, No.1, pp.54663.
3. 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.
4. 福本潤也, 後藤雄太: 検査・点検項目別に推計された自動車保安基準適合率の相関関係の推定と可視化, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol.67, No.5, pp.67_17376 67_1747, 2011.
5. 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.
6. Amemiya, T.: *Advanced Econometrics*, Harvard University Press, Cambridge, 1985.
7. Bhat, C.R., and Eluru, N.: A copula-based approach to accommodate residential self-selection effects in travel behavior modeling, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.43, No.7, pp.7496765, 2009.
8. Hasebe, T., and Vijverberg, W.P.: A flexible sample selection model: A GIL-copula approach, *IZA Discussion Paper*, No. 7003, 2011.
9. Hasebe, T.: Copula-based maximum likelihood estimation of sample selection, *Stata Journal*, Vol.13, No.3, pp.5476573, 2013.
10. Heckman, J.J.: Sample selection bias as a specification error, Vol.47, No.1, *Econometrica*, pp.153-161, 1979.
11. Marra, G., and Radice, R.: Estimation of a regression spline sample selection model, *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol.61, pp.1586173, 2013.
12. McGovern, M. E., Bämighausen, T., Marra, G., and Radice, R.: On the assumption of bivariate normality in selection models: A copula approach applied to estimating HIV prevalence, *Epidemiology*, Vol.26, No.2, pp.2296237, 2015.
13. Nishii, K., Sasaki, K., Tanabe, J., and Yoshihara, S.I.: An empirical model of expressway drivers behaviors on stopover at SA/PA involving the location choice, In *ERSA conference papers* (No. ersal4p399), presented at the 54th ERSa Congress, Saint Petersburg, 26629, August, 2014.
14. Van der Klaauw, B., and Koning, R.H.: Testing the normality assumption in the sample selection model with an application to travel demand, *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol.21, No.1, pp.31642, 2003.
15. Vella, F.: Estimating models with sample selection bias: a survey, *Journal of Human Resources*, Vol.33, No.1, pp.1276169, 1998.
16. Wood, S.: *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, CRC Press, New York, 2006.
17. Zhang, H., Zhang, J., and Kuwano, M.: An integrated model of tourists' time use and expenditure behavior with self-selection based on a fully-nested Archimedean copula function, *Tourism Management*, Vol.33, No.6, pp.156261573.

(2015. 4. 24 受付)

An SA/PA choice model of trucks on expressway
using digital tachograph data