

観光施設での時間帯別効用を考慮した 出発時刻選択均衡モデル

坂井 勝哉¹・日下部 貴彦²

¹正会員 神戸大学 大学院工学研究科 学術研究員 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail:k.sakai@port.kobe-u.ac.jp

²正会員 東京大学 空間情報科学研究センター 講師 (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)
E-mail:t.kusakabe@scis.toyo-u.ac.jp

観光施設周辺での交通混雑現象を分析するために、既存の出発時刻選択均衡モデルの枠組みを借用し、道路混雑費用とスケジュール費用に加えて、観光地での滞在効用が時刻変化することを考慮した出発時刻選択均衡モデルを構築した。均衡条件を定式化し、均衡状態を求めることにより、観光施設へ至るまでに生じる混雑のメカニズムを明らかにした。観光施設の性質として、一定時間滞在するものと一定時刻まで滞在するものの2種類に分けてモデルを作成し、それぞれについて交通混雑を緩和するための施策を検討した。その結果、観光施設内でオフピーク時に利用者の効用を増加させる催しを行うことは渋滞解消のひとつの方策であることを示した。また、前者のモデルでは過半の渋滞が解消できるものの、後者のモデルでは渋滞解消量が小さいことがわかった。

Key Words: Bottleneck model, Departure time choice equilibrium, Sightseeing

1. 序論

観光地などの集客力が強い地域では、施設周辺の道路混雑が問題となっている。その対策として、最近では京都と鎌倉を対象として、車でエリア内を移動する観光客に課金する制度が試験的に実施されようとしている¹⁾。

観光地に関する混雑現象には2種類ある。1つ目は、観光地内での混雑であり、2つ目は観光地へ向かうまでの混雑である。前者を解析するための研究として、たとえば、西野ら²⁾は観光地内での逐次的に目的地と出発時刻を選択する行動モデルを構築している。後者を解析するためには、家を出発し観光地へ向かい、観光施設に滞在した後家へ帰るまでの往復トリップを考える必要がある。観光客は、観光施設の規模によって滞在したい時間を決め、それに基づき、何時に家を出たら何時に観光施設に着き、何時に家に帰れるのかを考えて出発時刻を決めるだろう。したがって、観光施設周辺での混雑は、朝の通勤交通と同様の枠組み、すなわち出発時刻選択均衡問題として定式化できると考えられる。観光とは異なるが、Ramli et al.³⁾は都市内のショッピングセンターへの往復トリップにおける出発時刻選択の行動モ

デルを定式化している。

出発時刻選択問題⁴⁾の拡張として、たとえば、駐車場混雑問題⁵⁾、フレックスタイム(時差出勤)^{6),7)}、スケジュール選好⁸⁾などがある。観光地に関する応用としては、Baoら¹⁰⁾が中国の大型連休における居住地からリゾート地への大移動を対象として、ボトルネックモデルを用いて段階型料金の効果について分析を行っている。この研究の特徴は、ボトルネック遅れとスケジュール遅れに加えて、リゾート地での混雑による費用も考慮している点にある。

渋滞を緩和・解消する手立てのひとつとして、混雑課金^{11),12)}が挙げられるが、道路利用の混雑について直接料金を課するハードルは高い。また、観光客によって生じている外部性を、地元住民などの他社へ影響を与えずに抑えるためには、到着地である観光施設によって渋滞をコントロールできることが望ましい。したがって、本研究では、出発時刻選択均衡の枠組みを借用し、観光地へ至るまでの混雑現象を解析し、観光施設内での効用を変化させることによる渋滞緩和効果について検討する。

本論文の構成は次の通りである。第1章では研究背景と目的を述べた。第2章では本研究で想定する状況とモ

デルを記述し、出発時刻選択均衡問題を記述する。第 3 章では第 2 章の仮定下で起こり得る均衡状態を求める。第 4 章では、観光施設での時間帯別効用を変化させることにより渋滞を緩和させる方策について検討し、その効果について考察する。最後に、第 5 章で結論を述べる。

2. モデル

この章では、本研究の分析モデルについて述べる。分析対象ネットワークとして、住宅地と観光地との間に 1 つのボトルネックがある、1 起点・1 終点・1 ボトルネックのネットワークを考える。すなわち、出発地である住宅地から到着地である観光地へ向かう途中に待ち行列が発生するボトルネックが 1 つあると仮定する。このことは、広域から 1 か所に交通の流れが集中することを模式している。なお、観光施設から住宅地へ向かう交通は、1 か所から広域へ分散するため混雑を考えず、家から観光施設へ向かう時の道路混雑のみを考慮する。また、観光客の総数は一定とする。

(1) 観光客の行動

Vickrey (1969)⁴⁾に始まる一般的な出発時刻選択問題の定式化では、ボトルネック待ち時間とスケジュール遅れを費用換算し、その和として表される動的な一般化費用が最小となるように利用者が出発（到着）時刻を選択することを仮定している。本研究では、ボトルネック待ち時間と観光地で得られる効用とのトレードオフに基づく出発時刻選択問題を考える。すなわち、観光地の魅力が時々刻々変化していることを考える。これは、朝早い時間帯や夜遅い時間帯には観光地の魅力度が低い反面、昼間の時間帯には多くの店が開店していたり、様々な催しが開催されていたりすることを表している。したがって、観光客の出発時刻選択問題は、

$$\max_t u(t) = h(t) - g(t) - f(t) + \text{const.} \quad (1)$$

と定式化される。ここで、 $u(t)$ は時刻 t に到着する観光客の効用、 $f(t)$ は時刻 t に到着する利用者のボトルネック遅れ時間費用、 $g(t)$ は時刻 t に到着する利用者のスケジュール費用、 $h(t)$ は時刻 t に到着する利用者の観光施設内で得られる効用を金銭換算した値である。以下に、各関数 $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ を定義する。

ボトルネック遅れ時間費用 $f(t)$ は、従来の出発時刻選択問題と同様に、時間価値 α を用いて、

$$f(t) = \alpha \cdot w(t), \quad (2)$$

とする。ここで、 $w(t)$ は時刻 t に観光地へ到着する利用者のボトルネック遅れ時間である。

スケジュール費用 $g(t)$ に関して、これ以上朝早く家を出ると負担を感じる時刻（早朝終了時刻） t_a と、これ以上夜遅く家に帰ると負担を感じる時刻（深夜開始時刻） t_b を定義する。スケジュール費用は、それぞれの時刻を超えた時間に比例すると仮定する。したがって、スケジュール費用は、家を出発する時刻 t_d と家に到着する時刻 t_h を用いて、

$$g(t) = \max(B \cdot (t_i - t_d), 0) + \max(C \cdot (t_h - t_b), 0) \quad (3)$$

と表現される。ここで、 B は朝早くに出発することの時間に対する限界費用、 C は夜遅くに帰宅することの時間に対する限界費用である。

観光施設内で得られる効用 $h(t)$ は、施設滞在中の観光施設の魅力度 $x(t)$ によって決まると仮定し、

$$h(t) = D \int_t^{t_i} x(\tau) d\tau \quad (4)$$

と表す。ここで、 D は魅力度を金銭単位の効用（費用）へ換算する係数である。 $x(t)$ が時刻変化することは、たとえば、遊園地では閉園間際になるといくつかの乗り物には乗れなかったり、昼間にはレストランが営業していたり、催しが行われていたりすることに対応している。

以上の仮定に基づく出発時刻選択均衡問題を考える。均衡状態は以下の 4 つの条件・制約を満たさなければならない。

出発時刻選択均衡条件：選択されている出発（到着）時刻の一般化費用は均衡時の費用と等しく、選択されていない時刻の費用は均衡時の費用よりも大きいかせいぜい等しい。すなわち、

$$\begin{cases} u(t) = \rho & \text{if } q(t) > 0 \\ u(t) \leq \rho & \text{if } q(t) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 ρ は均衡時の費用、 $q(t)$ は時刻 t に到着する流率である。

ボトルネック容量制約：ボトルネックで待ち時間が発生していればその時の流率はボトルネック容量と等しく、待ち時間が発生していなければその時の流率はボトルネック容量以下である。すなわち、

$$\begin{cases} q(t) = \mu & \text{if } w(t) > 0 \\ q(t) \leq \mu & \text{if } w(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

保存則：流率を全て足し合わせると総需要 Q に等しい。すなわち、

$$\int q(t) dt = Q \quad (7)$$

非負制約：流率は非負である。すなわち、

$$q(t) \geq 0 \quad (8)$$

以上で定式化された出発時刻選択均衡問題は、既存のモデルと同じ定式化であるか、制約条件が異なる。既存

研究のモデルでは、スケジュール費用はボトルネック遅れ時間と独立であったが、本研究のモデルでは、 $g(t)$ の早朝費用には $w(t)$ が含まれているため、 $g(t)$ と $w(t)$ との間に独立性を仮定した緩和問題を考える。そうすれば、緩和問題の均衡解をもつ最適化問題は、以下のように記述することができる¹³⁾。

$$\min_{\{q(t)\}} \int \frac{g(t)-h(t)}{\alpha} \cdot q(t) dt, \quad (9)$$

$$s.t. \quad q(t) \leq \mu, \quad (10)$$

$$\int q(\tau) d\tau = Q, \quad (11)$$

$$q(t) \geq 0, \quad (12)$$

また、式(9)-(12)の双対問題は、

$$\max_{\{w(t)\}} - \int w(t) \cdot \mu dt + \pi Q \quad (13)$$

$$s.t. \quad w(t) + \frac{g(t)-h(t)}{\alpha} \leq \pi \quad (14)$$

$$w(t) \geq 0 \quad (15)$$

である。実際には、 $g(t)$ は $w(t)$ の関数であるため、式(13)-(15)を解いて得られる $w(t)$ を $g(t)$ へ代入して繰り返し、 $w(t)$ が収束するまで計算することにより、均衡解が得る。

(2) 観光施設の行動

本節では、観光施設の行動原理について述べる。観光施設は、ある一定の観光資源 X を有しているとし、時々刻々の観光客滞在人数に基づいてその資源を時間帯ごとに割り振ると仮定する。すなわち、within day ダイナミクスによって観光客は出発時刻（到着時刻）を選択し、day-to-day ダイナミクスによって観光施設は各時間帯へ観光資源を配分し、観光施設での時刻別魅力度が決まる。

観光施設は各時間帯の滞在者数に比例した観光資源をその時間帯に配分すると仮定する。すなわち、

$$\frac{x(t)}{n(t)} = a \quad \forall t, \quad (16)$$

ここに、 a は定数である。また、 a は以下のように書き換えられる：

$$a = \frac{\sum_t x(t)}{\sum_t n(t)} = \frac{X}{\sum_t n(t)} \quad \forall t, \quad (17)$$

ここに、 $n(t)$ は時間帯ごとの観光地滞在人数である。

観光施設は、第1節で仮定した利用者の行動に基づく出発時刻選択均衡の結果を受けて、観光資源を再配分し直すとする。観光施設の観光資源再配分が収束するまで計算をおこなう。

表-1 均衡計算で使用する値

時間価値 α	50 円/分
早朝限界費用 B	40 円/分
深夜限界費用 C	30 円/分
魅力度限界効用 D	50 円/分
早朝終了時刻 t_f	9:00
開場時刻 t_o	9:00
閉場時刻 t_c	17:00
深夜開始時刻 t_b	18:00
自由流旅行時間 T_f	120 分
総需要 Q	4800 台
ボトルネック容量 μ	20 台/分
総魅力度 X	480 [1/分]

3. 均衡状態

この章では、前章で定式化した出発時刻選択均衡問題を解き、均衡状態で起こり得る現象を分析する。第1節では、比較的コンパクトな観光施設（温泉や美術館など）、すなわち滞在時間が短時間の観光施設を対象として均衡分析を行う。第2節では、滞在時間が長時間の観光施設（大型テーマパークなど）を対象として均衡分析を行う。均衡状態を求めるために行う計算で使用する数値を表-1に示す。なお、均衡状態を数値的に計算するため、時刻を5分単位に離散化する。観光施設が定める魅力度 $x(t)$ の初期値は開場から閉場まで一様に分布させているとする。

(1) 滞在時間固定モデル

温泉や美術館などの比較的小規模な観光施設では、ある程度の時間を滞在すれば、一通り満足して帰るだろう。このことは、滞在によって得られる限界効用が逡減し、限界費用と一致するためであると解釈できる。この時間は観光地の大きさによって異なるが、ここでは、滞在時間 $T=90$ 分と仮定する。

以下では、前章の方法によって計算される均衡状態について考察する。図-1に魅力度の変化を、図-2に到着時刻による効用の変化を示す。滞在時間固定モデルでは、スケジュール費用のかからない昼間の時間帯に観光地滞在人数が多くなり、観光施設は、昼間の時間帯に偏って魅力度を配分する均衡状態となる。観光客は、魅力度の高い時間帯に滞在できることと、ボトルネックによる待ち時間の費用とのトレードオフに基づき、出発（到着）時刻を選択した結果、図-2の破線と実線とで囲まれる領域で示されるだけの遅れ時間費用を受けることになる。均衡状態では、この遅れ時間費用に相当する待ち行列がボトルネック部分で発生する。この原因は観光効用から

スケジュール費用を引いた値が時刻によって異なるためであり、この差を小さくすることにより渋滞を緩和することが可能である。

(2) 帰宅時刻固定モデル

大型テーマパークなど、1日では全ての箇所を回り切れない大規模な観光施設では、入場時刻に関わらず閉場まで滞在すると仮定する。なお、全員が一斉に帰宅すれば、渋滞が発生するものの、本研究で対象としている自宅の出発時刻選択とは異なるメカニズムに基づくものであるため、混雑費用が一定であるとみなし、帰宅時刻選択については考えない。滞在時間 T_s は到着時刻によって異なり、

$$T_s = t_c - t \quad (18)$$

と表される。

図-3に時刻による魅力度の変化を、図-4に到着時刻による効用の変化を示す。自宅時間固定モデルでは、遅い時間帯になればなるほど観光施設内滞在者数が増加するため、観光施設は遅い時間帯に資源を投下する戦略となる。このことは、大型テーマパークで夜にイベントが多いことを説明できる。前節のモデルと同様に、観光客は、魅力度の高い時間帯に滞在できることと、ボトルネックによる待ち時間の費用とのトレードオフに基づき、出発(到着)時刻を選択しており、図4の破線と実線とで囲まれる領域で示されるだけの遅れ時間費用を受ける。

4. イベントによる混雑緩和策の検討

本章では、道路管理者が渋滞を緩和するための施策について検討する。最も端的な渋滞緩和施策として、適切な時間帯別課金を行うことにより、渋滞が解消できる¹²⁾。しかし、課金制度は利用者に直接的な金銭負担を強いるため、道路利用者と道路管理者との間で金銭のやり取りを行わない方法が望ましい。また、ボトルネック部分に課金することは、観光地の魅力によってもたらされている渋滞にもかかわらず、観光地には行かない地元住民などにも課金を意味しており、観光地の魅力による混雑は観光客の間で外部性を内生化することが望ましい。したがって、本研究では、道路管理者が観光施設へ補助金を出し、時間帯別の観光施設の魅力度を変更させることを考える。この対策は、観光施設が資源投下制約 X を時間帯別に $x(t)$ 配分しているところに、道路管理者が補助観光資源 y をある時間帯に投下することにより、その時間帯の魅力度を $x(t)+y$ に変える。これにより、到着時刻での効用差を小さくすることにより、道路渋滞を緩和するという狙いである。

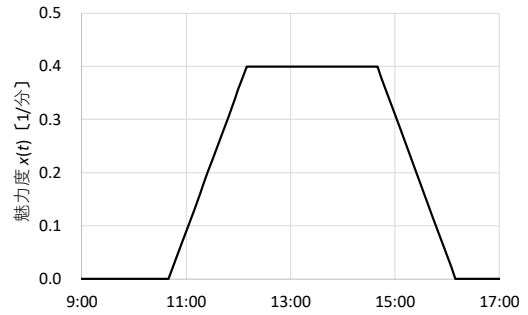


図-1 均衡状態での観光施設魅力度時刻分布 (滞在時間固定モデル)

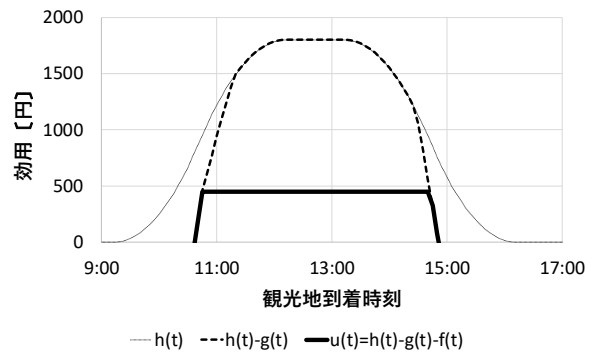


図-2 均衡状態での到着時刻による効用変化 (滞在時間固定モデル)

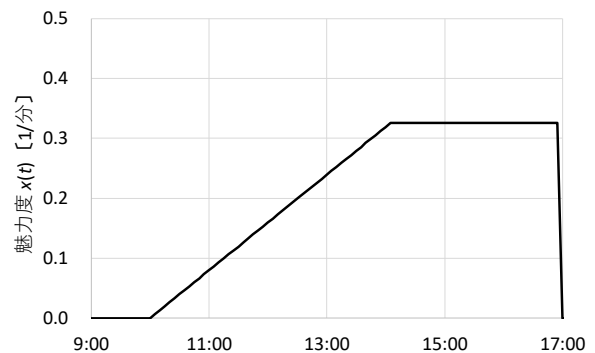


図-3 均衡状態での観光施設魅力度時刻分布 (帰宅時刻固定モデル)

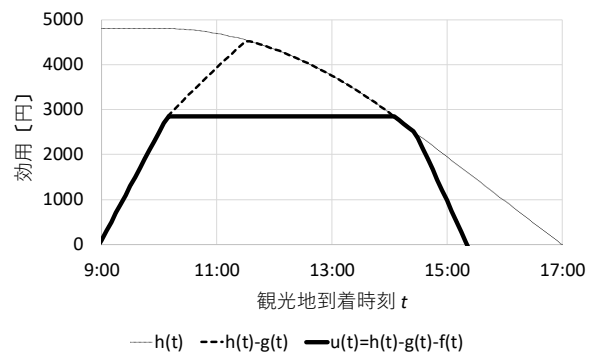


図-4 均衡状態での到着時刻による効用変化 (帰宅時刻固定モデル)

(1) 滞在時間一定モデル

短時間滞在モデルにおいて、イベント開催による総遅れ時間の変化について分析を行う。図-5は追加のイベントの開催時刻と魅力度によるボトルネックでの総遅れ時間の変化を示している。結果より、観光客がたくさん訪れるピーク時間帯に行えば総遅れ時間は大きくなり、ピーク時間帯以外に行えば総遅れ時間は小さくなることがわかる。

総遅れ時間が比較的小さくなる点として、10:30-10:35の時間帯に魅力度 500 [min⁻¹]のイベントを行った場合の均衡状態を図-6に示す。もともと魅力度がゼロであった時間帯の魅力度を上げることにより、その時間帯に滞在する効用があがり、到着時間帯間での得られる効用差が小さくなることから、総遅れ時間を小さくできる。

(2) 帰宅時刻一定モデル

長時間滞在モデルにおいて、イベント開催による総遅れ時間の変化について分析を行う。

図-7は追加のイベントの開催時刻と魅力度によるボト

ルネックでの総遅れ時間の変化を示している。観光客が到着し始める以前のタイミングにイベントを行うことにより、渋滞を緩和できることを示している。また、観光客が到着している時間帯にイベントを行うことは、渋滞を悪化させる。なお、全員が到着し終わる時刻以降にイベントを行っても、渋滞緩和効果はない。渋滞緩和効果の例として、10:00-10:05の時間帯に魅力度 500 [min⁻¹]のイベントを行った場合の均衡状態を図-8に示す。前節のモデルと同様に、渋滞をいくらか緩和することができる。しかし、その効果は滞在時間一定モデルと比べて限定的である。

5. 結論

本研究では、出発時刻選択均衡問題の枠組みで、観光施設周辺の混雑現象について分析を行った。まず、均衡状態を定式化し、観光施設での滞在時間一定モデルと帰宅時刻一定モデルの2種類もモデルについて、均衡状態を計算し、混雑が発生するメカニズムを明らかにした。次に、観光施設で新たなイベント等を行うことを想定し、

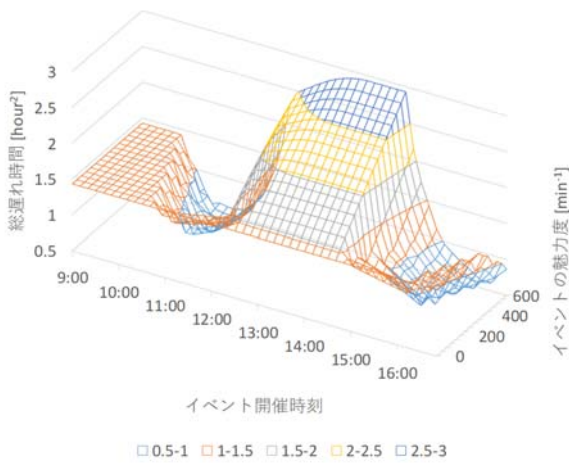


図-5 イベント開催による総遅れ時間の変化 (滞在時間一定モデル)

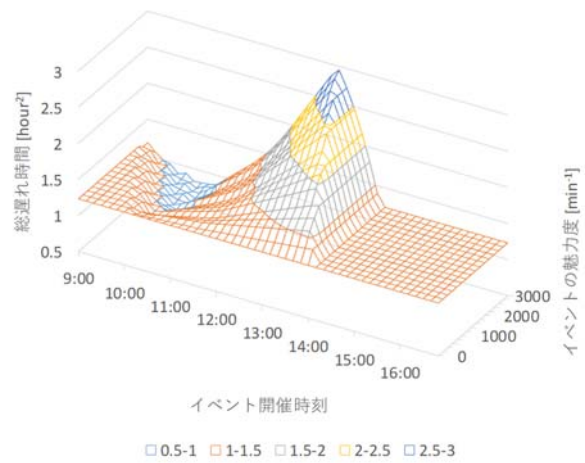


図-7 イベント開催による総遅れ時間の変化 (帰宅時刻一定モデル)

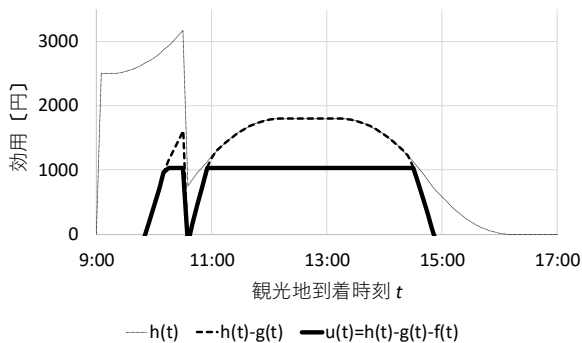


図-6 10:30-10:35に魅力度 500のイベントを行った場合の均衡状態 (滞在時間一定モデル)

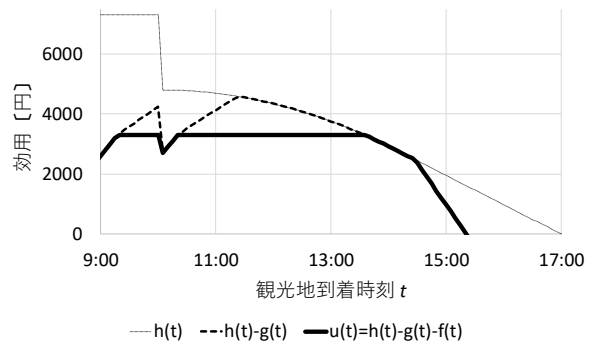


図-8 10:00-10:05に魅力度 500のイベントを行った場合の均衡状態 (帰宅時刻一定モデル)

特定の時間帯の魅力度を上げる混雑緩和策について検討した。元々、観光施設には渋滞を解消する動機はないが、この施策は、道路管理者が施設の魅力度を高めるためにイベントを行うお金を負担してくれるため、観光施設側にとってもメリットがあり、実現可能性が高い施策であるといえる。

滞在時間一定モデルにおいては、実施時刻と規模を適切に設定すれば、過半数の渋滞待ち時間が解消できるものの、帰宅時刻一定モデルでは、その効果が小さいことが明らかになった。

今後の拡張として、観光客による外部性が地元住民へ与える影響を分析するため、道路利用者の異質性を考慮したモデルを構築する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省(2017)「報道発表資料：ICT・AI を活用したエリア観光渋滞対策の実験・実装を図る「観光交通イノベーション地域」を選定しました」, http://www.mlit.go.jp/road/press/road01_hh_000887.html, 2017年11月10日アクセス.
- 2) 西野至, 藤井聡, 北村隆一: 観光周遊行動の分析を目的とした目的地・出発時刻同時選択モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.16, pp. 681-687, 1999.
- 3) Ramli, M. I., Uemura, T., Oeda, Y., Sumi, T.: Study on Choice Model of Departure Time Based on Disutility of Going to City Centre Activity, TJournal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, pp. 659-671, 2010.
- 4) Vickrey, W. S.: Congestion Theory and Transport Investment, The American Economic Review, Vol.59, No.2, pp. 251-260, 1969.
- 5) Inci, E: A review of the economics of parking, Economics of Transportation, Vol.4, pp.50-63, 2015.
- 6) Henderson, J.: The economics of staggered work hours, Journal of Urban Economics, Vol.9, pp.349-364, 1981.
- 7) Mun, S. and Yonekawa, M.: Flexitime, Traffic Congestion and Urban Productivity, Journal of Transport Economics and Policy (JTPEP), Vol.40, pp.329-358, 2006.
- 8) Takayama, Y.: Bottleneck congestion and distribution of work start times: The economics of staggered work hours revisited, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.81, pp.830-847, 2015.
- 9) Fosgerau, M. and Small, K.: Endogenous Scheduling Preferences and Congestion International Economic Review, Wiley Online Library, Vol.58, pp.585-615, 2017.
- 10) Bao, Y.; Xiao, F., Gao, Z. and Gao, Z.: Investigation of the traffic congestion during public holiday and the impact of the toll-exemption policy, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.104, pp.58-81, 2017.
- 11) Pigou, A. C.: The Economics of Welfare, 1920.
- 12) Arnott, R., de Palma, A., Lindsey, R.: Economics of a bottleneck, Journal of Urban Economics, Vol. 27, pp.111-130 1990.
- 13) 井料隆雅, 吉井稔雄, 朝倉康夫; 出発時刻選択問題の均衡状態に関する数理的解析, 土木学会論文集, Vol.2005, pp. 779_105-779_118, 2005.

(2018.4.27 受付)

DEPARTURE TIME CHOICE EQUILIBRIUM MODEL CONSIDERING THE UTILITY CHANGE IN THE SIGHTSEEING SPOT

Katsuya SAKAI and Takahiko KUSAKABE