

利用者行動モデルに基づく 一般道沿道における休憩施設機能評価

柳原 正実¹・小根山 裕之²・山下 和太郎³

¹正会員 東京都立大学大学院助教 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: yanagihara@tmu.ac.jp

²正会員 東京都立大学大学院教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

³正会員 JR 東日本コンサルタンツ株式会社 (〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1)
E-mail: w-yamashita@jrc.jregroup.ne.jp

日本の一般道上での道路整備において、駐車や休憩といった機能を充実させるための施設のひとつに道の駅がある。しかし、道路ネットワーク全体における、道の駅などの休憩施設の最適な配置についての具体的な指標は存在せず、研究事例も少ない。

そこで本研究では、長距離トリップにおける休憩に着目した、既存の道の駅の立地と新規休憩施設の配置の評価分析を行った。評価指標は、アンケート結果に基づいて構築されたモデルから算出される効用が最大となる休憩施設立ち寄り時の効用の、評価対象施設の有無での差分として定義した。評価分析にあたり、関東圏を含む一日の全トリップを対象に評価指標を算出し、その結果、休憩施設としての立地の評価が高い道の駅と、新規休憩施設配置における評価が高いエリアを明らかにした。

Key Words : *Michi-no-eki, roadside facilities, long drive, road network, utility maximization*

1. 序論

(1) 背景

道の駅は1993(平成5)年に初めて登録され、2022年8月の第57回登録を経て1198駅が全国に存在する。国土交通省道路局は登録の主な要件として、24時間無料で使用できる駐車場・トイレ、道路・地域観光・緊急医療情報提供施設、文化教養・観光・地域振興施設を併せもつことを定めており¹⁾、一般的に、道の駅は休憩・情報発信・地域連携の3機能を有し、道路利用者に快適な休憩と多様で質の高いサービスを提供するための施設として認知されている。

道の駅の休憩施設としての機能に着目すると、その新設や既存施設の効果的な運用のためには、既存の沿道施設との機能分担、道路ネットワーク全体での立地条件、道路利用者ニーズを考慮した検討を行うことが必要である。しかし、「道の駅」登録案内要綱²⁾では道路ネットワーク全体での施設配置の最適化を意識した具体的指標が示されていないため、現状の道の駅整備においては立地条件の検討が不十分であるといえる。

(2) 研究目的

本研究では、一般道利用者の休憩目的の立ち寄り行動の効用を指標として、道の駅を含む休憩施設の適切な配置を検討することを目的とする。具体的には、効用に基づいた立ち寄りの有無を選択するモデルから評価指標を構築し、既存の道の駅の休憩施設としての評価と新設する場合の立地評価を行う。

評価には、山下³⁾らが構築した休憩施設選択モデルを用いる。このモデルは、任意のトリップに対して、沿道の全休憩施設への立ち寄りの有無を考慮した、トリップ全体の効用を導出する。そして、立ち寄る休憩施設はトリップ全体の効用がより大きくなる組み合わせとして選択される。

(3) 既往研究

道路ネットワークにおいて道の駅同士の位置関係を考慮した既往研究として、石井ら⁴⁾は運転中90分に一度休憩を取るものとして、必ず90分後に次の休憩施設があるような最適配置の手法で四国4県を対象に検討を行っている。この手法では、配置に際する条件としてドライバーの最適な行動を仮定しており、実際の休憩の実態は細かく考慮されていない。また、飯田⁵⁾は和歌山県内にて

他の沿道施設と比較しながら道の駅立ち寄り選択の傾向が明らかにされているが、個々の道の駅の評価や他の沿道施設との関係性を考慮した道の駅の立地の評価に応用することは難しいと言える。

休憩のための立ち寄り行動という観点では、高速道路におけるSA/PAを対象とした研究が多くみられる⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかし、いずれの研究においても休憩行動による利用者の効用のような、実際の利用者の行動原理を基にした休憩機能の評価は行われていない。

(4) 本研究の休憩施設配置評価手法の位置づけ

本研究で用いる休憩施設選択モデルは、トリップ全体の立ち寄り休憩施設選択行動をモデル化しその選択行動に対する効用を評価することができるという特徴がある。また、モデルパラメータについても全国の一般道利用者に対するアンケート結果をもとにしているため、実際の利用者の行動原理を基にした評価が可能である。

2. 施設配置評価手法

(1) 休憩施設評価指標の概要

休憩施設の評価指標値は、すべての立ち寄りパターンの中で休憩施設選択モデルから算出される最大の効用である「最大立ち寄り効用」を用いて、図-1のように算出される。なお、立ち寄りパターンとは沿道の各施設に立ち寄るか否かの組み合わせを指す。評価対象施設沿道を通過する全てのトリップについて最大立ち寄り効用を合計した総効用値の、対象施設が存在する場合と存在しない場合の差分が休憩施設評価指標値となる。休憩施設評価指標値は、無次元の不満度を時間で積分した値の合計であるので、時間の次元の効用であり、その時間分の旅行時間が短縮されることと同等の値とみなすことができ

また、最大立ち寄り効用に対応する立ち寄りパターンにおいて、評価対象施設に立ち寄るトリップの合計からは、当該施設への立ち寄り数や立ち寄り率などが算出される。本研究では、この立ち寄り率に関しても、休憩施設評価指標値と合わせて評価・考察を行った。

(2) 休憩施設選択モデル

休憩施設選択モデルは、任意のトリップの経路沿いに存在する複数の休憩施設に立ち寄る行動に対して、一般道利用者の属性を考慮しつつ、同一の尺度で比較可能な効用の値を算出するように構築する。このモデルの入力は立ち寄る休憩施設の種類と、出発目的地および休憩施設間の旅行時間である。なお、一般道利用者の属性はモデルパラメータとして結果に反映される。

休憩施設選択モデルでは、一般道利用者の効用について以下の仮定を設けている。

- ・一般道利用者はトリップを行う際、出発からの時間経過とともに単位時間当たり $D_n(t)$ の不満が発生・蓄積

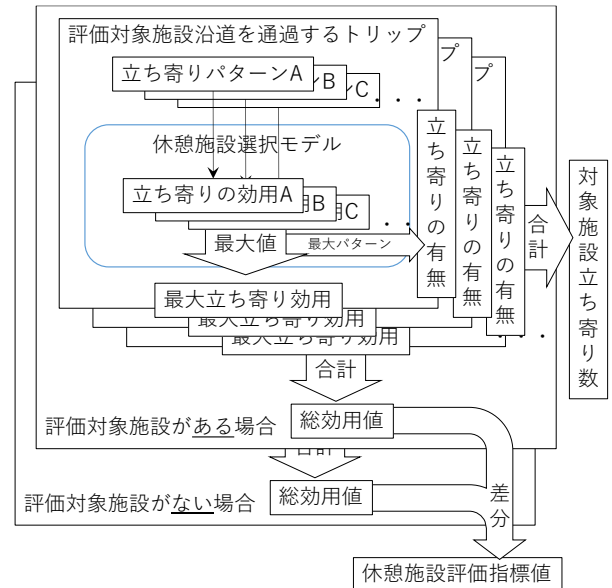


図-1 休憩施設評価指標算出過程

単位時間当たりの不満 $D_n(t)$

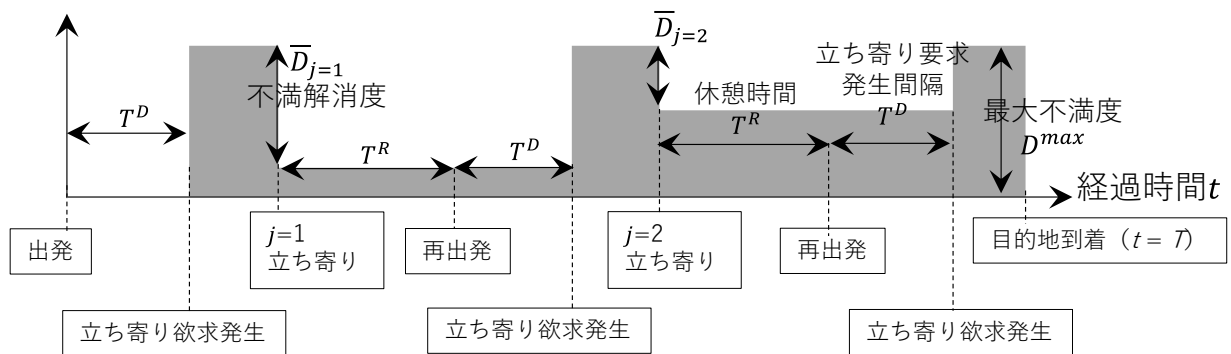


図-2 単位時間当たりの不満 $D_n(t)$ の推移例

る。

していく。

表-1 休憩施設選択モデルのパラメータ

クラスタ名		サンプル数	不満解消度 \bar{D}_j		立ち寄り効用 \hat{U}_j [分]		要求発生時間 T^D [分]	休憩時間 T^R [分]
			コンビニ	道の駅	コンビニ	道の駅		
運転者	休憩機能重視型	111	0.119	0.219	9.8	14.8	107.4	21.3
	施設選好軽視型	620	0.153	0.238	3.1	9.4	103.0	31.1
	所要時間重視型	287	0.217	0.296	7.9	14.4	104.1	23.6
	欲求達成重視型	122	0.473	0.545	3.4	6.0	94.0	30.6
同乗者	施設選好軽視型	217	0.202	0.251	4.3	8.1	91.7	39.1
	移動計画重視型	202	0.143	0.252	9.7	14.2	93.3	30.8
	観光機能重視型	125	0.210	0.286	23.0	28.9	103.3	28.5

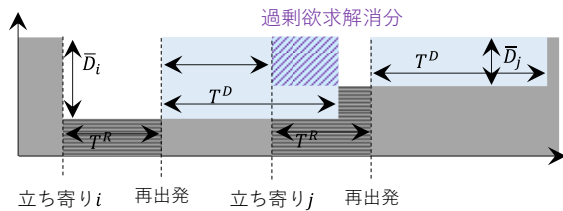


図-3 立ち寄りが頻繁に起きる場合の不満度の定義

- ・単位時間当たりの不満増加割合（以下、不満度とする）が立ち寄り欲求が生じる度に上昇する。
- ・不満度は沿道施設への立ち寄りによって減少する。
- ・道の駅やコンビニといった比較的休憩のための機能が充実している施設では、不満度の減少とは別に、立ち寄りによる効用 \hat{U}_j が発生する。

ここで、不満とはトイレ・食事・仮眠といった種々の立ち寄り欲求発生による不快感、不満足感などを包括して表現するものであり、不効用に等しい。

全体の効用 U は、立ち寄りによる効用 \hat{U}_j と単位時間当たりの不満 $D_n(t)$ についてそれぞれトリップ全体で集計した値であり、式 (1) のように表現される。最も効果的な立ち寄り方は U が最大となる立ち寄りパターンであり、一般道利用者は、より U が大きくなる立ち寄りパターンを選択すると定義される。

$$U = \sum_j \hat{U}_j - \int_0^T D_n(t) dt \quad (1)$$

- U : トリップの効用
- \hat{U}_j : 施設 j への立ち寄りによる効用
- T : トリップの総所要時間
- $D_n(t)$: 単位時間当たりの不満

単位時間（分）当たりの不満度 $D_n(t)$ は、図-2 のように一定時間が経過し立ち寄り欲求が発生することで大きくなる。また、立ち寄りを行うことによって不満は単位時間当たり不満解消度 \bar{D}_j だけ解消される。不満解消度 \bar{D}_j は各立ち寄り j によって異なり、休憩時間中及び再出発後も不満度が 0 になることはなく、目的地に到着する

ことで不満度が 0 になる。ある立ち寄り j がもたらす直接的な効用は \hat{U}_j であるが、立ち寄り中の負の効用 $-\bar{D}_j T^R$ とその後の不満の解消された状態があわせて考慮される。各トリップ n の効用 U_n における式 (1) の右辺第 2 項の大きさは図-2 の灰色の面積に相当する。なおクラスタ同士を同じ尺度で比較できるようにするため、不満度の最大値は $D^{max} = 1.0 (1/min)$ として定義される。

また、立ち寄りが頻繁に起きる場合の効用の値についても定義されている。時間当たりの不満度は、立ち寄った施設を出発してから欲求発生間隔の時間分減少しているものという仮定から、立ち寄りが短い間隔で起きる場合の効用は、図-3 のように不満度が減少している時間が重なるため、図の過剰欲求解消分だけ、間隔が十分長い場合よりも効用が減少すると定義される。したがって、モデルの出力は適切な間隔で立ち寄りをする場合の効用が最も大きくなる。

休憩施設選択モデルのパラメータは 2019 年に実施した Web アンケートに基づいて表-1 のように算出されている。具体的には、運転者 1140、同乗者 544 サンプルに対して、クラスタリングを行い、それぞれのグループの SP データを基に算出された非集計選択モデルパラメータを変換することで、休憩施設選択モデルのパラメータを算出されている。

(3) 最大立ち寄り効用の効率的な算出手法

立ち寄り施設の選択問題において、各立ち寄り候補施設に立ち寄るか、立ち寄らないかをすべて考慮した立ち寄りパターンについて効用を算出すると $O(2^n)$ の時間を要する。この結果より、最大立ち寄り効用を得ることはできるが、立ち寄り候補施設に数が多くなれば指数関数的に効用を算出するための計算量が増加するため、すべての立ち寄りパターンを考慮した計算は実質不可能である。特に数分おきに存在するコンビニ等の施設を考慮する場合、立ち寄り施設の候補は 100 か所以上になるトリップも存在するため、効率的な計算方法の確立が必要不可欠である。以下では、 $O(n^3)$ の時間で最大の効用のパターンを効率的に導くことができるアルゴリズムにつ

いて述べる.

まず, 立ち寄りを行わなかったときの効用 U_0 と施設 j にのみ立ち寄りを行った時の差分について考慮する. 立ち寄りによる到着時間の遅延と不満の解消を考慮したときの, 他の立ち寄りの影響を受けない効用増加分 ΔU_j は以下の式で計算される. このとき施設 j にのみ立ち寄りを行った時の効用は $U = U_0 + \Delta U_j$ である.

$$\Delta U_j = \hat{U}_j - (1 - \bar{D}_j)T^R + \bar{D}_jT^D \quad (2)$$

$$U_0 = 1 \times (t_{0,n} - T^D) \quad (3)$$

また, 影響が重複した場合の効用は, 図-3 で示した過剰欲求解消分 $\bar{U}_{i,j}$ を減じることで考慮できるため, 施設 i,j に連続して立ち寄った時の施設 j の分の効用増加分 $\Delta U_{i,j}$ は以下のように算出される.

$$\Delta U_{i,j} = \Delta U_j - \bar{U}_{i,j} \quad (4)$$

$$\Delta U_j = \hat{U}_j - (1 - \bar{D}_j)T^R + \bar{D}_jT^D \quad (5)$$

$$1 \leq \forall j \leq n$$

$$\bar{U}_{i,j} = \min(\bar{D}_i, \bar{D}_j) \times \max(0, T^D - t_{i,j}) \quad (6)$$

ここで出発地, 目的地の不満解消度 \bar{D}_j を定義したとしても, 上式は本モデルの仮定に沿っており, 出発地から立ち寄る施設を含んだ目的地までの効用増加分 $\Delta U_{i,j}$ と U_0 の和で効用を表すことができる. このとき, 最大の効用 \hat{U} は, 施設 i,j 間の最大の効用増加分 $\hat{U}_{0,n}$ を以下の式に従い順次算出することで求めることができる. この最大化問題は有向非巡回グラフにおける最長経路探索問題である.

$$\hat{U} = \max_x U(x) = U_0 + \hat{U}_{0,n} \quad (7)$$

$$\hat{U}_{j,j+1} = \Delta U_{j,j+1} \quad 0 \leq \forall j \leq n-1 \quad (8)$$

$$\hat{U}_{j,j+k} = \max \left(\Delta U_{j,j+k}, \max_{i:j < i < j+k} (\hat{U}_{j,i} + \hat{U}_{i,j+k}) \right) \quad (9)$$

$$0 \leq \forall j \leq n-k \quad 2 \leq k \leq n$$

- i, j : 立ち寄り候補施設インデックス
(出発地 $i, j = 0$, 目的地 $i, j = n$)
 $i, j \in \{0, 1, 2, \dots, n-1, n\} = S$
- S : 出発地と目的地を含む
立ち寄れる施設の集合
- $t_{i,j}$: 施設 i, j 間の旅行時間
- \bar{D}_j : 立ち寄り候補 j の不満解消度
($0 \leq j \leq n, \bar{D}_0 = \bar{D}_n = 1$)

- \hat{U}_j : 立ち寄り候補 j の直接効用
- U_0 : 単位時間当たりの不満
- T^R : 休憩時間
- T^D : 欲求発生間隔
- $\Delta U_{i,j}$: 施設 i, j に連続して立ち寄った時の施設 j の分の効用増加分
- ΔU_j : j にのみ立ち寄るときの欲求増加分
- $\bar{U}_{i,j}$: i, j に連続して立ち寄った時の過剰欲求解消分

実際の計算では, まず $n(n+1)/2$ 個の $\Delta U_{i,j}$ を求め $n(n+1)/2$ 個の $\hat{U}_{j,j+k}$ を $k=1$ の場合から順に大きな k の値に対応するものを求める形で計算を進める. ここで, 以下の式に従う途中立ち寄り施設集合 $\hat{r}_{j,j+k}$ を順に求めることで, 最適パターンにおいて立ち寄る施設の集合 $\hat{r}_{0,n}$ が求まる. 効率的に実装する場合には, 式中の a の値を最大 $n(n+1)/2$ 個保存すればよい.

$$\hat{R}_{j,j+1} = \emptyset \quad 0 \leq \forall j \leq n-1 \quad (10)$$

$$\hat{r}_{j,j+k} = \emptyset \quad \text{if } \hat{U}_{j,j+k} = \Delta U_{j,j+k}$$

$$\hat{r}_{j,j+k} = \hat{r}_{j,a} \cap \{a\} \cap \hat{r}_{a,j+k} : a = \operatorname{argmax}_{i:j < i < j+k} (\hat{U}_{j,i} + \hat{U}_{i,j+k}) \quad (11)$$

otherwise

$$0 \leq \forall j \leq n-k \quad 2 \leq k \leq n$$

3. 実ネットワークにおける休憩施設配置の評価

(1) 評価対象

平日1日を想定し, その経路の一部もしくはすべてが関東1都6県を通るトリップを対象に休憩施設選択モデルを適用し, その結果を集計することで, 既存の各道の駅の評価を行った.

対象とするトリップは交通シミュレーション SOUND の結果の小型車の移動軌跡を用いた. この時, 出発地が高速道路に存在する場合はすでに1時間の運転が行われたものとして扱った. 沿道の立ち寄り施設候補は, 車両軌跡から 500m 以内に存在する道の駅とコンビニ相当の施設すべてを対象とした. 道の駅は約 100 か所, コンビニ相当の施設は約 30,000 か所考慮し, 最大数百倍に拡大されることで1時間分となる 24 時間 \times 460,000 経路パターンのトリップを対象に各クラスターのパラメータを用いた休憩施設選択モデルの出力を得た.

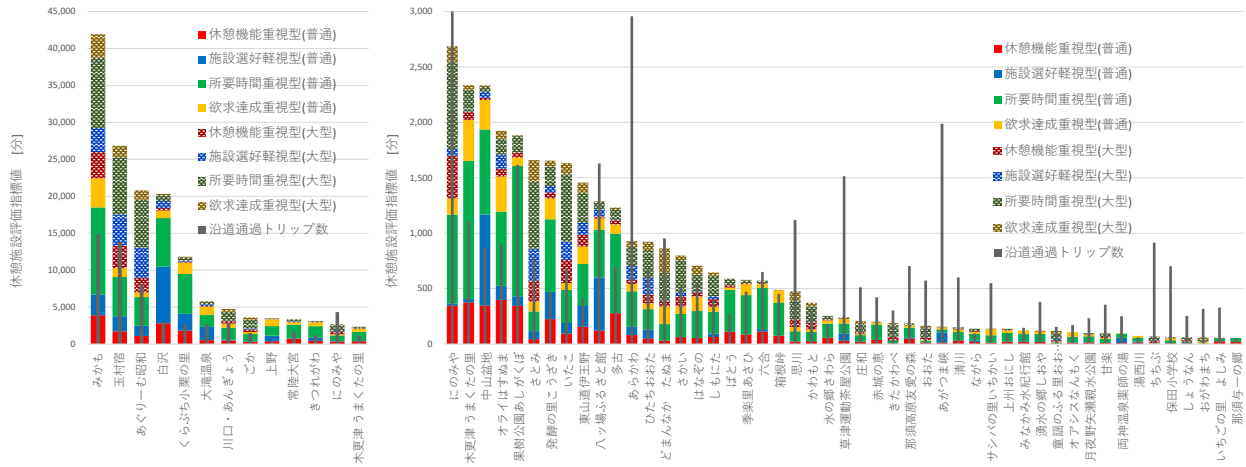


図-4 関東圏における各道の駅の休憩施設評価指標値（上位 50 駅）

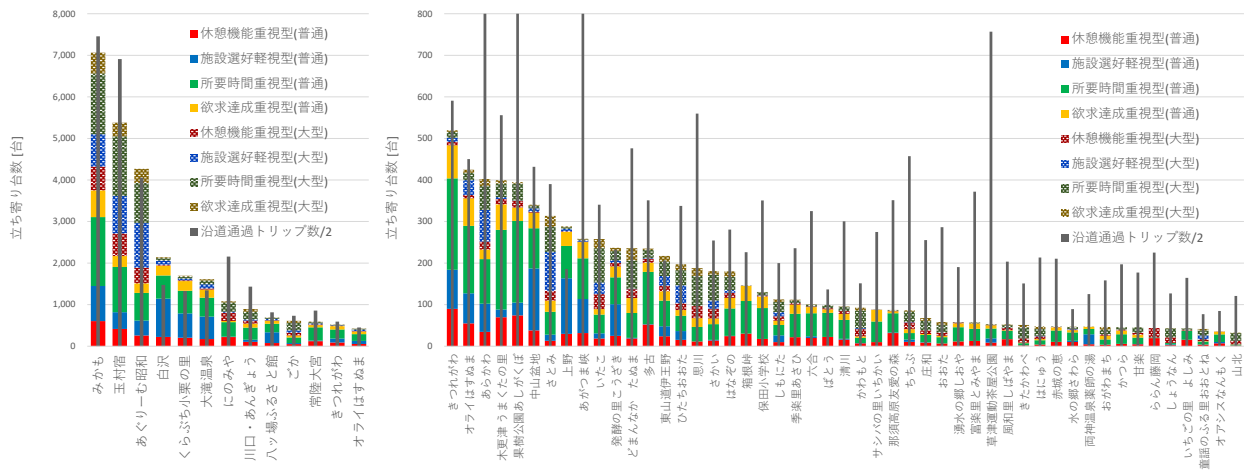


図-5 関東圏における各道の駅の平日 1 日の推定休憩目的立ち寄り台数（上位 50 駅）

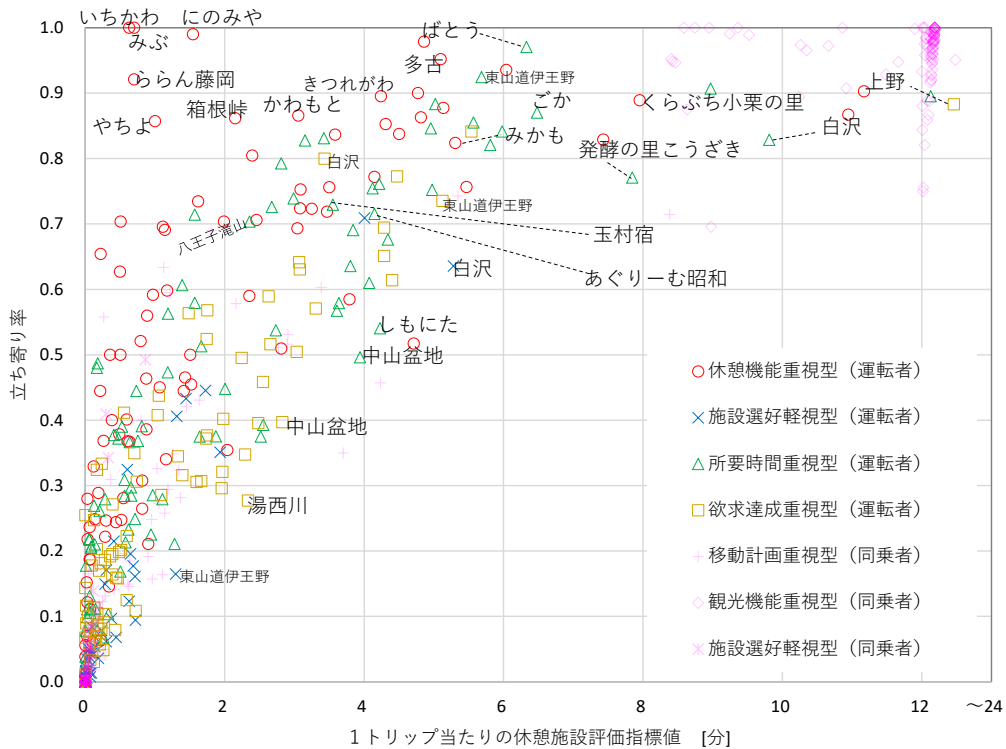


図-6 普通車の 1 トリップ当たりの休憩施設評価指標値と立ち寄り率

(2) 各道の駅の評価

図-4は運転者のクラスタの休憩施設評価指標値をアンケートでの出現比率で重み付けして集計した結果である。

評価値の高い道の駅「玉村宿」「みかも」「あぐりーむ昭和」は高速道路ICのすぐ近くに立地しており、シミュレーション結果に沿道を通るトリップが多く含まれていたため、評価値が極めて高くなった。クラスタ・車種の内訳をみると、これらの道の駅では、特に大型車と徴用時間重視型による評価値の割合が高く、物流車両の利用が多いことが予想される。次に評価値の大きい道の駅「白沢」「にのみや」「あらかわ」などは、周辺に他の休憩施設がない一本道の途中に存在しており、重要な休憩拠点であり、評価が高くなったといえる。

図-5は上記の結果を得る際に算出された各道の駅への立ち寄り台数である。概ね休憩施設評価指標値の値が高い施設ほど、立ち寄り台数が多い結果となった。図-4、図-5に併記した沿道通過トリップ数の大小と休憩施設評価指標値と立ち寄り台数の数の大小の相関が高いことが読み取れる。これは、集計を行っているため、特に沿道の交通量多い幹線沿いの道の駅の休憩施設評価指標値と立ち寄り台数がともに大きくなる傾向となったためである。

ここで、沿道の交通量の影響を除いた指標として、休憩施設評価指標値を沿道を通過するトリップ数で割った、1トリップ当たりの休憩施設評価指標値と休憩施設への立ち寄り率に着目する。図-6は普通車を対象にそれぞれの関係について示した図である。特徴的な点に関しては、その道の駅名を併記した。

評価指標値と立ち寄り率はモデルの特性を反映して、ある程度の相関関係を示している。また、1トリップあたりの休憩施設評価指標値においても郊外の道の駅の評価が高いことがわかる。この結果は、コンビニ等の代替施設が少ない場所の評価が高くなる構造が反映された結果であると考えられる。立ち寄り率の値からは、休憩施設重視型のドライバーが高く、施設選考軽視型のドライバーの値が低い結果となっており、各クラスタの特徴がうまく反映されているといえる。また、図-6の同乗者のプロットには、同乗者が立ち寄りの意思決定をする場合の立ち寄り率とその時の同乗者の効用に基ついた1トリップあたりの休憩施設評価指標値を用いている。同乗者の観光機能重視型の評価の傾向は、他のクラスタと大きく異なっており、全体の評価を行う上では無視できない要素であるといえる。

全体の休憩施設評価指標値と1トリップあたりの休憩施設評価指標値を比べると、トリップ単位で評価した値の方が値のばらつきが小さく、休憩施設評価指標値で評価が高い道の駅が、必ずしもトリップ単位での評価が高いわけではないことがわかる。

これらの結果より、休憩施設としての需要は沿道の交通量の影響が極めて大きいこと、全ての交通に対しての公平な評価の下、地理的な立地の評価をする場合にはトリップ単位の休憩施設評価指標値での評価が必要であることがわかった。

(3) 新設道の駅の評価

各3次メッシュ中心点に道の駅が新設される場合を対象に評価手法を適用した結果を算出した。その結果が図-7である。

図-7の結果より、1都6県の中に数か所、新設時の評価が高くなる、既存の道の駅が近くに存在しない部分が確認された。特に横浜市西部周辺や、千葉県柏市北部周辺において新設時の評価が高くなる傾向が見られた。これらの地域には、現存の道の駅も存在しないため、道の駅の新設が望まれている可能性が高い。

4. 結論

本研究では、任意のトリップ中の休憩施設への立ち寄りに対して、トリップ全体を通した効用を導出する休憩施設選択モデルを用いた、道の駅の立地の評価手法の構築し関東圏に手法を適用した。評価手法では、現実的な計算時間で結果を得るために、有向非巡回グラフにおける最長経路探索問題を解くアルゴリズムを提案した。

各道の駅に手法を適用した結果、休憩施設としての需要は沿道の交通量の影響が極めて大きいこと、全ての交通に対しての公平な評価の下、地理的な立地の評価をする場合にはトリップ単位の休憩施設評価指標値での評価が必要であることがわかった。

新設道の駅の立地評価に手法を適用した結果、1都6県の中に数か所、新設時の評価が高くなる、既存の道の駅が近くに存在しない部分が確認された。

本稿で示した結果では、運転者の行動を表現するクラスタの割り付けに、アンケート結果の出現率を利用し、加えて同乗者を無視して運転者のみの効用を反映した。より精緻な結果を得るためには、同乗者の存在を考慮したクラスタの割り付け手法を構築する必要がある。

謝辞：本研究は、新道路技術会議平成31年度道路政策の質の向上に資する技術研究開発（研究テーマ：交通・物流・交流・防災拠点としての道の駅の性能照査と多目的最適配置に関する研究）の一部として実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：「道の駅」登録・案内要綱, <https://www.mlit.go.jp/road/Michi-no-Eki/pdf/guidance.pdf>

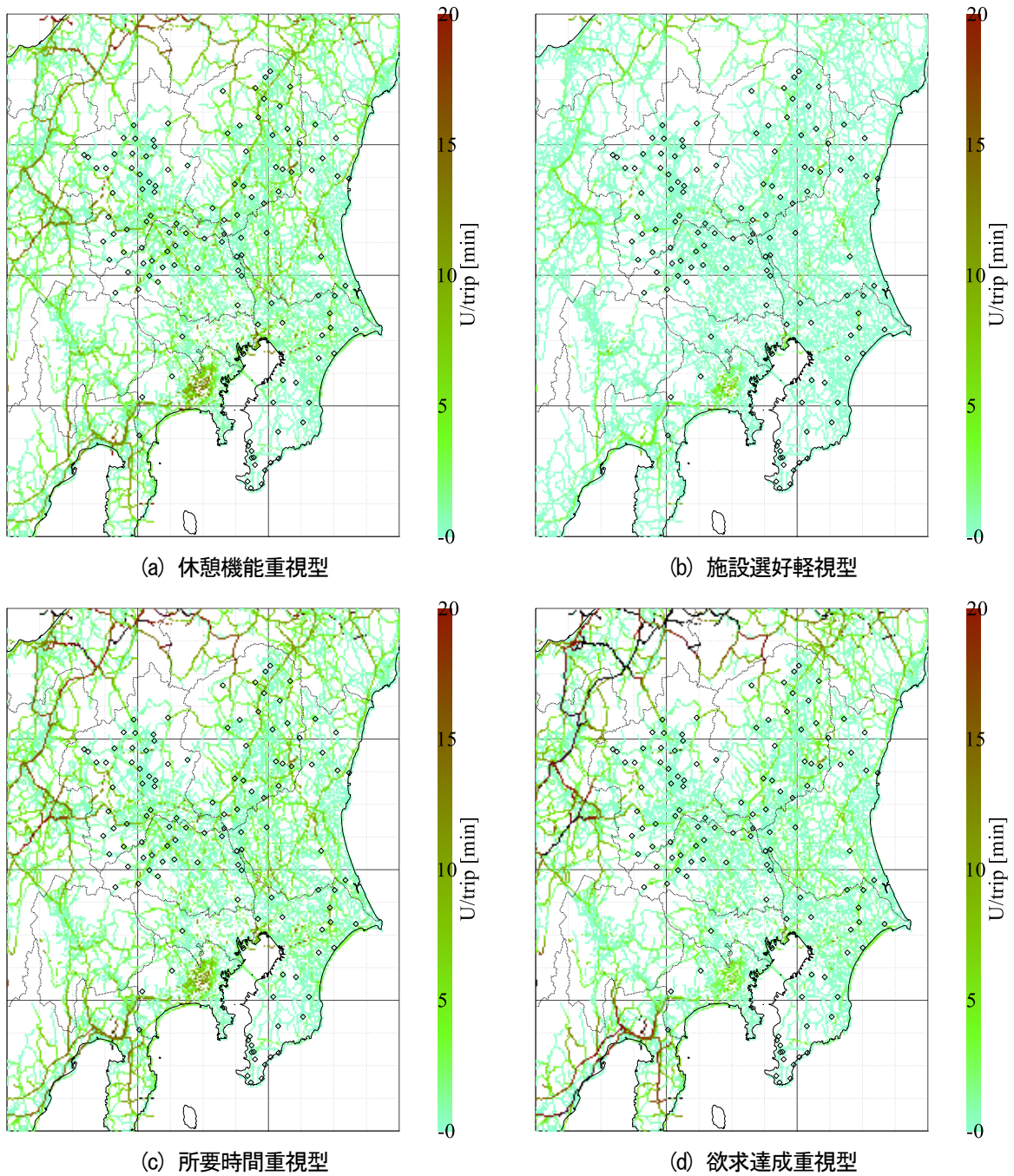


図7 関東圏における道の駅を新設した場合の1トリップあたりの休憩施設評価指標値 (◇: 考慮した道の駅)

- 2) 山下和太郎, 柳原正実, 小根山裕之, 施設配置評価のための一般道沿道における立ち寄り休憩施設選択モデル, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.66, 2022.
- 3) 石井健太郎, 吉川徹, 讃岐亮: 休憩施設としての道の駅の適切な配置の検討, 2013年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1033-1034, 2013.
- 4) 飯田克弘: 利用者の評価・行動結果に基づく道の駅の基本施設・サービスのあり方に関する考察, 2000年度第35回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 421-pp. 428, 2000.
- 5) 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, 2011.
- 6) 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, 2011.
- 7) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.52, 2015.
- 8) 平井章一, Jian XING, 甲斐慎一郎, 堀口良大, 宇野伸宏: ETC2.0プローブデータに基づく都市間高速道路の休憩行動モデルの構築, 交通工学論文集, 第4巻, 第1号(特集号A), p.A_196-A_205, 2018.

EVALUATION Of LOCATION OF REST FACILITIES ALONG GENERAL ROADS
BASED ON USER BEHAVIOR MODEL

Masami YANAGIHARA, Hiroyuki ONEYAMA and Wataro YAMASHITA