

心拍数データを用いた 小型モビリティの観光周遊ルートの評価と提案

江尻 佳弘¹・中村 一樹²・紀伊 雅敦³

¹学生会員 香川大学大学院 工学研究科安全システム建設工学専攻 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: s16g404@stu.kagawa-u.ac.jp

²正会員 助教 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: knaka@eng.kagawa-u.ac.jp

³正会員 准教授 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: kii@eng.kagawa-u.ac.jp

近年、人口減少により都市郊外では、公共交通の不足による観光客のモビリティ不足が深刻化している。これに対して、小型モビリティの観光周遊利用が期待されるが走行エリアの制約が大きい。また、目的地間を繋ぐ周遊ルートにおける走行環境の魅力要素の特定と評価はされていない。そこで、本研究では、心拍数データに基づく心理的・身体的負担の指標を用いて、小型モビリティの周遊ルートの評価と提案を行う。具体的に、GPS データから観光周遊ルートの把握、走行実験による心拍数と走行環境のデータを用いた心理的・身体的負担の評価モデルの構築、評価モデルを用いた周遊ルートの提案を行った。この結果、モビリティ毎に走行環境が心理的負担に与える影響が異なることが分かったため、走行環境要素を考慮した周遊ルートの提案が重要であることを示した。

Key Words: compact mobility, sightseeing circle trip, heart rate data, route evaluation, route proposition

1. はじめに

近年の人口減少により、都市部以外の地域では、公共交通が不足し、観光客のモビリティ不足が深刻化している。このため、新たに周遊を促す交通手段として、自家用車と比べ小回りが良く、レンタサイクルや小型 EV のような小型モビリティの運用が期待されている。また、このようなモビリティ利用を促進することで、それらの目的地や走行ルートが潜在的な観光資源を発掘できると期待されている。

しかし、これらの小型モビリティは利用における制約が大きい。まず、レンタサイクルは、走行時に身体的負担が発生することから、走行可能距離が短い。一方、小型 EV は車両価格がまだ高いため導入台数が少なく、充電の必要性により走行エリアが制限される。

このため、レンタサイクルと小型 EV の利用形態に適した情報発信が、それらの利用促進において重要になると考えられる。観光来訪者は、土地勘がないだけでなく

走行を楽しむというニーズもあるため、走行環境に対する情報発信は有効であると考えられる。ここで、小型モビリティの観光利用に関する情報は、目的地の情報だけでなく、目的地間の走行環境の情報が必要となる。しかし、小型モビリティの観光利用において、どのような走行環境が魅力要素になるかは十分に明らかでない。

既往研究では、自動車や自転車の走行環境要素と心理的負担の関係について、心拍数などの生体データを用いた分析がされてきた。しかし、これらの多くは都市部の通勤・通学者の安全性に着目し、走行中の突発的な障害物による、利用者の心理的負担が分析されている。このため、周遊における多様な魅力要素を考慮しているとは言えない。また、走行の心理的負担と身体的負担の両面から評価を行う研究はなされていない。

これらを踏まえ、本研究では、レンタサイクルと小型 EV の観光周遊ルートを心拍数データに基づく心理的負担・身体的負担による評価手法を用いて提案する。モビリティの走行制約としては、自転車走行における身体的

負担，小型EV走行における充電なしでの走行可能距離を考慮する。まず，既往研究レビューを行った後に，香川県小豆島におけるレンタサイクルと小型EV利用者を対象に，GPS機器を用いて観光周遊ルートの特徴を把握する。次に，心拍計と視点動画撮影による走行実験から，走行中の心拍数データと走行環境データを取得し，走行環境による心理的負担と身体的負担の評価モデルを構築する。最後に，この評価モデルを用いて，周遊ルートの特定方法を提示する。

2. 既往文献レビュー

小型モビリティの観光周遊ルートの走行環境要素とルート特性，評価手法について，既往研究と事例をレビューした。既往研究レビューでは，小型EVに関する分析は見られないため，自転車に注目して行った。

(1) 走行環境の要素

まず，自転車の走行環境の要素は，欧米・欧州の走行環境の評価手法である，Bicycle Compatibility Index¹⁾とBikeability Toolkit²⁾で整理されている。これらの要素は，道路施設，沿道環境，交通量，地形である。また，これらの要素項目を以下の表に示す。

表1 整理されている走行環境要素

要素	項目
道路施設	路面の質
	道幅
	段差
	交差点
	視界の広さ
	走行スペース
沿道環境	自然景観
	都市景観
交通量	歩行者
	自転車・自動車
地形	勾配

松丸ら³⁾は，道路施設に注目し，アンケート調査を行い都市部における自転車利用の評価を行っている。この分析では，道路施設に対し利用者の主観的評価を調査し，交通量や路面の質，道幅の広さなどの道路施設の影響が自転車利用の経路選択に影響を与えていることを明らかにした。また山中ら⁴⁾は，道路施設の路面の質や段差により発生する振動に着目し，走行中に発生する振動と走行中の快適性との関係を分析している。これにより，振動の強弱や路面の環境が走行時の快適性に関係があると分析している。

(2) ルート特性

全国のレンタサイクルと小型EVの事例をレビューし，観光周遊のルート特性を調べた。レンタサイクル事業は多いため，ランダムに約20の事業を調べた。

事業目的に関してはレンタサイクルは市街地での通勤・通学の事業が多く，小型EVでは，景勝地・観光地での事業が多いことが分かった。またルートの設定については，周遊ルートが設定されている事業の割合がレンタサイクルに比べ小型EVが高く，小型EVではほぼ全ての事業で周遊ルートが設定がされていた。このルート設定でどのような要素を考慮しているか事業者ヒアリングした結果，主要な観光地を巡ることに加え，レンタサイクルでは疲労が少なく楽しめる走行範囲，小型EVでは充電の必要がない走行範囲が重視されていることが分かった。

また，両方の事業を行っている奈良県明日香村の事例では，各モビリティに対し観光周遊ルートを設定している。これらのルートを比較したところ，小型EVのルートは，主要目的地間を主要道路を走行して繋いでいる周遊ルートであった。一方，レンタサイクルの周遊ルートは，小型EVと比べ狭いエリアを限なく走行しているルートが多く，補完的な利用がされていることが示唆された。これにより，レンタサイクルと小型EVでは，適した走行環境が異なることが考えられる。

(3) 走行時の心理的負担の評価

自転車走行時の心理的負担の評価手法については，心臓の鼓動の時間間隔である心拍間隔(RRI)から計測されるLP(ローレンツプロット)面積の時間変化が，代表的な心理的負担の指標とされている。このデータは，比較的簡易に収集することができるという利点がある。

渡辺ら⁵⁾は，心拍変動のデータを用いた走行環境評価の手法について分析している。ここでは，路面の質，道幅，段差といった道路施設と交通量が心理的負担に影響があることが示されている。また，鈴木ら⁶⁾は，自転車道や自転車道路指導帯などの走行に対し，心理的負担を比較している。その結果，路面の質，道幅，段差，走行スペースといった道路施設や交通量が心理的負担に影響を与えているとされている。

ただし，これらの研究で行われている，走行環境の評価対象は都市部の通勤・通学者である。また，沿道環境に着目した分析はなされていない。

(4) 走行時の身体的負担の評価

自転車走行の身体的負担の評価手法として，様々な運動に対する運動の強度を表す指標として，心拍数の変化，酸素摂取量，呼気ガスなどが用いられている。

野竹ら⁷⁾は心拍数に着目し，心拍計を用いた室内走行

実験から、走行速度や走行時間と勾配と心拍数の関係を分析している。

広田ら⁸⁾は、自転車を模した自転車エルゴメーターと呼ばれるトレーニング機器を用いた室内実験により、走行速度と勾配の変化による最大酸素摂取量の変化を分析している。その結果、速度と勾配は最大酸素摂取量に大きく影響がすることを示している。

既往研究から酸素摂取量を用いた運動強度の分析は心拍数による分析と比べ、精度が高いとされているが、データ取得が困難であり、実際の走行環境を分析するための室外実験を行うことが難しい。これらを踏まえ、データの取得が容易で、屋外実験によるデータの取得を行うことが可能である心拍数は、ルートの走行環境評価において有用なデータであると考えらる。

3. 観光周遊ルートの特徴

レンタサイクルと小型 EV の利用者が走行する周遊ルートの特徴を把握するために香川県小豆島において GPS 機器を用いたデータ取得を行う。これにより、各モビリティの周遊ルートの走行環境の特徴を比較する。

3.1 ケーススタディ

走行環境の評価のケーススタディとして、小豆島での観光利用者を対象に調査・分析を行う。小豆島は、公共交通サービス水準の低さが大きな問題となっている。

そこで、新たに観光周遊を促す交通手段として自転車や小型 EV が期待され、レンタサイクルのサービスと超小型 EV の豆モビが道の駅「小豆島ふるさと村」で試験的に運用されている。各モビリティの使用料金を比べてみると、豆モビでは利用時間に関わらず約 4,000 円/回、電動アシスト機能付レンタサイクルで 1,500 円/回と、レンタカーの約 10,000 円/日と比べ安価である。しかし、豆モビの車両価格がまだ高価なため小豆島での運用台数は 3 台に留まっている。また、走行エリアが充電の必要性などから定められていることから、多くの観光客が集中的に訪れることが想定される瀬戸内芸術祭では、十分な輸送力を確保することは難しい。

小型 EV に関しては、観光マップを用いた情報発信が行われている。ふるさと村を出発点として、小型 EV を使い、小豆島の主要な観光地と瀬戸芸作品を巡るコースが 3 つ設定されている。これらの EV コースは国道や県道を走行している。そのため、細街路などに存在する観光資源に対し、周遊を促すような工夫はされていない。

3.2 走行データの取得方法

小型の GPS 受信機を電動アシスト付き自転車 2 台に設置し、単位秒あたりの位置情報とデータ取得時間の記録を行う。また、レンタサイクルは乗り捨てが可能のため、乗り捨てレンタサイクルをふるさと村へ回収する時に GPS 受信機を一緒に回収し、乗り捨てのデータも取得した。このようにして、走行ルートや滞在地の抽出、走行速度などが位置情報として抽出した。2015 年 8 月から 2015 年 12 月末までデータの取得を行い、レンタサイクルは 9 件、このうち乗り捨ては 4 件である。乗り捨ての特徴としては、ふるさと村から離れたオリーブ公園や、土庄港付近での乗り捨て箇所で行われている。また、これらの地点は、バスやフェリーの乗り場が近いため、乗り替え目的の利用だと考えられる。小型 EV は 11 件のデータを取得した。また、2014 年度にはレンタカーのデータも収集している。これらを以下の図に示す。

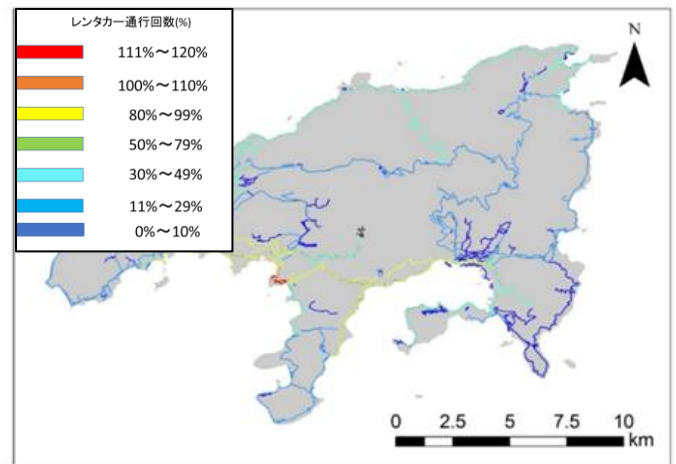


図 1 レンタカーの走行ルート

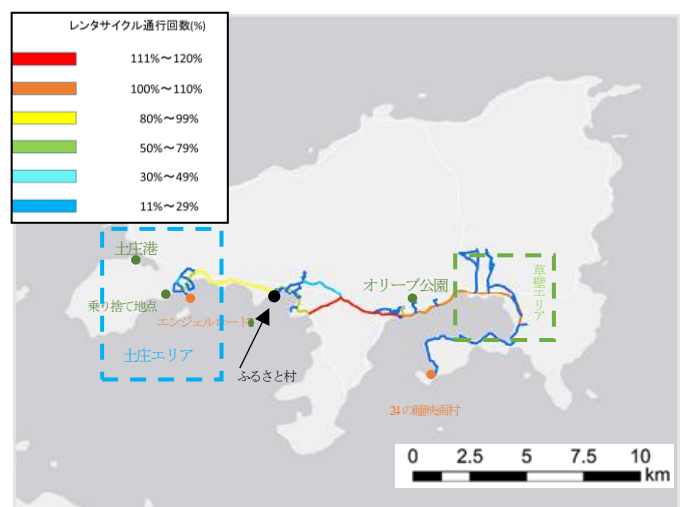


図 2 レンタサイクルの走行ルート

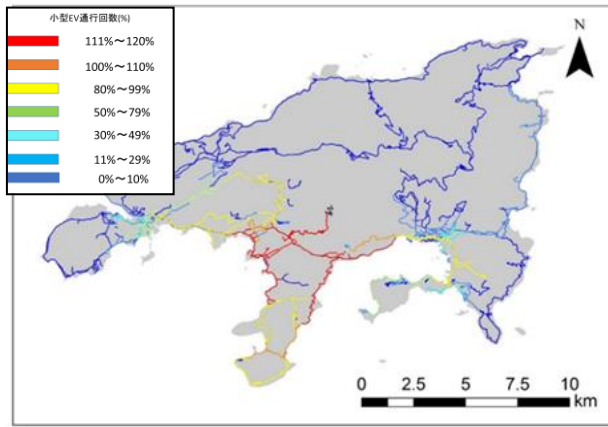


図 3 小型 EV の走行ルート

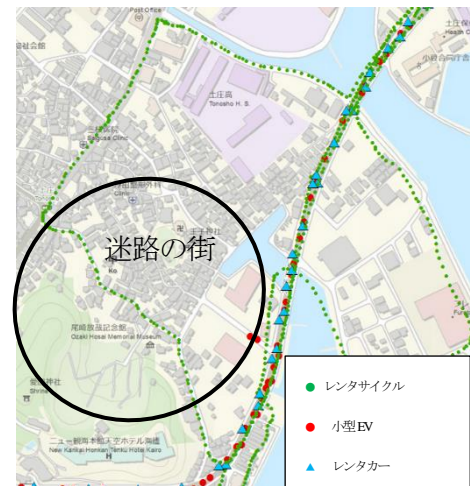


図 4 各モビリティの迷路の街周辺の周遊行動

3.3 走行ルートの特徴

各モビリティの走行において走行回数が多かったルートを把握した。これにより、レンタサイクルと小型 EV の走行において、選択されるルートの走行環境の特徴を分析した。

まず、広域な走行ルートに注目し、走行範囲の違いを比較するとレンタカーが広く、レンタサイクルが狭いことが分かる。小型 EV の走行範囲はレンタカーとレンタサイクルの間である。このことから、小型 EV はこれらの中間的モビリティであると考えられる。

また、走行ルートの特徴を比較するとレンタカーの利用でよく走行されているルートは道幅が広い幹線道路である。また、山間部や半島部での走行は少なかった。次に、レンタサイクルでは、ふるさと村から土庄エリアと草壁エリアの市街地につながる沿岸部の走行が多く見られた。山間部での走行は見られなかった。一方、小型 EV では、山間部や半島部分での走行が多く見られた。このように、モビリティ毎に多く走行されるルートの走行環境の違いがあることから、モビリティ毎に適した走行環境があると考えられる。

また、詳細な走行ルートの比較を行うため、細い街路が続く迷路の街周辺に注目し、各モビリティの走行ルートの比較をおこなった。迷路の街周辺における各モビリティの走行ルートを以下の図 4 に示す。

この結果、周遊が見られたのはレンタサイクルのみであったため、レンタサイクルの周遊では、交通量が少なくなる細い街路が選択されていると考えられる。一方で、小型 EV やレンタカーにおいては、道幅や視界の広さが選択される走行環境要素だと考えられる。

3.4 目的地の特徴

次に、レンタサイクルと小型 EV の利用において、滞在する目的地とその滞在時間の比較を行い、各モビリティの滞在行動の違いを把握する。各モビリティの滞在行動をまとめた表を以下に示す。

表 3 滞在箇所と滞在時間の比較

地点の種類	地点名	レンタサイクル(9件)		豆モビ(11件)	
		来訪件数(%)	平均滞在時間(分)	来訪件数(%)	平均滞在時間(分)
目的地	オリーブ公園	17	20	13	25
	エンジェルロード	14	15	4	15
	24の瞳映画村	3	10	9	40
立寄り施設	オリーブ園	10	10	4	5
	マルキン醤油	10	12	13	10
	オリーブビーチ	3	5	4	10
	鬼ヶ崎	3	5	4	5
	釈迦ヶ鼻	0	0	4	30
	内海ダム	3	10	0	0
	オリーブタウン	0	0	4	20
	迷路の街	3	5	0	0
	ANGER from the Bottom	3	5	0	0
	コンビニ	24	5	26	5
港	スーパー	3	10	13	10
	草壁港	3	5	0	0
	坂手港	0	0	4	10
滞在件数合計(件)		29		23	
1人あたり滞在件数(件)		3		2	
平均滞在時間に対する平均走行時間の割合(%)		340		802	
1回あたり平均滞在時間(分)		7		12	
1利用あたりの平均滞在時間(分)		24		24	

これより、主要な観光施設である目的地に関してはどちらのモビリティにおいても滞在されていることは確認できた。ただし、レンタサイクルでは、24 の瞳映画村に行った観光客は少ない。これは、映画村が半島に位置し、目的地の中では比較的遠いことにより、身体的負担が多くなることが影響していると考えられる。

また、立寄られた施設に差はあるが、これらの施設の共通点として景勝地、お土産や名産品が購入できるような小売店が多いことが分かった。また、コンビニなどでの立寄りも多く、休憩が行われていると考えられる。

モビリティによる立寄り行動の違いとして、レンタサイクルの滞在行動はより多くの施設で短い滞在が行われている。

4. 観光周遊ルートの評価モデルの構築

各モビリティの周遊行動データから走行環境要素と走行中の身体的負担との関係性を評価モデルを構築し明らかにする。

本研究では取得が容易な心拍数データを用いた身体的負担の評価指標の算出を行う。また、レンタサイクル利用者は疲労などの身体的負担から周遊ルートを選択している傾向も見られたため、身体的負担に関して、運動強度を推計するモデルの構築をする。

4.1 身体的負担の評価指標

走行中の快適度を評価するため、心拍変動は LP 面積を計測する。この指標を用いることで連続的に変化する走行環境要素と身体的負担の関係を明らかにすることができる。

LP 面積の算出にはまず、心拍数データから心拍間隔(以後、RRI)を以下のように算出する。

$$RRI(ms) = \frac{60}{\text{心拍数}(bpm)} \times 1000 \quad (1)$$

RRI を図 5 に示すように横軸に n 番目の RRI、縦軸に n+1 番目の RRI をグラフ上にプロットする。プロットされた点を $y=x$ 軸と $y=-x$ 軸に投影し、投影後、 $y=x$ 軸において原点からの距離の標準偏差を σ_x 、 $y=-x$ 軸において原点からの距離の標準偏差を σ_{-x} とし、LP の分布を楕円として捉え、式 2 により、その面積 (LP 面積) を求める。

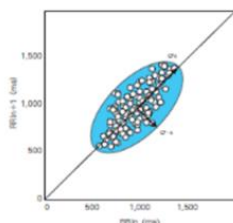


図 5 LP 面積 (石田⁹⁾)

$$LP \text{面積} = \sigma_x \times \sigma_{-x} \times \pi \quad (2)$$

得られた LP 面積には、渡辺らにより二つの解釈が存在しているとされている。それは、LP 面積が大きいと不快であるという解釈と逆に快適であるという解釈である。実際に本研究で様々な走行環境を走行したときの LP 面積を計測した結果、LP 面積が小さくなる時、不快な走行環境要素が多いことを確認しているため、LP 面積を用いて快適度を以下の式 3 で定義した。

$$\text{快適度}(\%) = \frac{\text{運動時LP面積}}{\text{安静時LP面積}} \times 100 \quad (3)$$

4.2 身体的負担の評価指標

身体的負担は、レンタサイクルの走行限界の基準を定める指標として扱う。レンタサイクルの走行中の身体的負担は、カルボーネン法を用いた運動強度として以下の式から算出する。

$$\text{最大心拍数}(bpm) = 220 - \text{運動者の年齢} \quad (4)$$

$$\text{運動強度}(\%) = \frac{\text{運動時心拍数}(bpm)}{\text{安静時心拍数}(bpm)} \times 100 \quad (5)$$

また、運動強度を用いて、走行により蓄積された疲労を表す指標として次式より消費カロリーを算出する。

$$\text{総酸素消費量}(ml) = \frac{\text{酸素摂取量} \left(\frac{ml}{kg \cdot \text{分}} \right) \times \text{運動強度} \times \text{分} \times \text{体重}(kg)}{1000} \quad (6)$$

$$\text{消費カロリー}(kcal) = \text{総酸素消費量}(ml) \times 5 \quad (7)$$

4.3 走行実験

走行実験は、走行環境の異なるルート 1、ルート 2 を設定した。ルート 1 は、既存の小型 EV 周遊ルートを元に設定している。具体的に、交通量はルート 1 で 10 台前後、ルート 2 では 5 台で、道幅に関しては、走行幅がルート 1 では 0.5m 程度、ルート 2 では走行幅が 0.75m ~ 1.0m のルートとなっている。また、以下に実験ルートの図を示す。

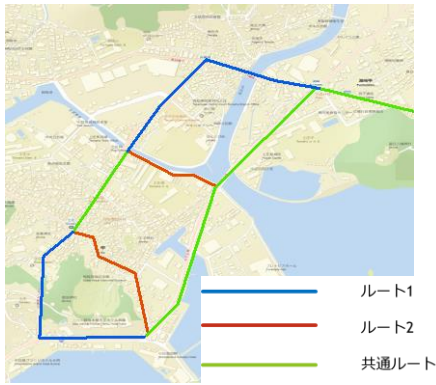


図 6 走行実験の走行ルート

走行実験は GPS 機器を用いて、走行中の挙動を計測する。また、走行中の心拍変化を計測するため、心拍計を用いて各コースをレンタサイクル、小型EVで走行し、心拍数データを取得した。被験者は、22歳男性である。各ルートを両モビリティで走行した時の快適度の時系列変化を比較した。また、各モビリティ間で快適度の絶対値が異なるため、各モビリティの走行時の平均快適度差を算出し、平均値からの差の相対比で比較する。その結果を以下に示す。

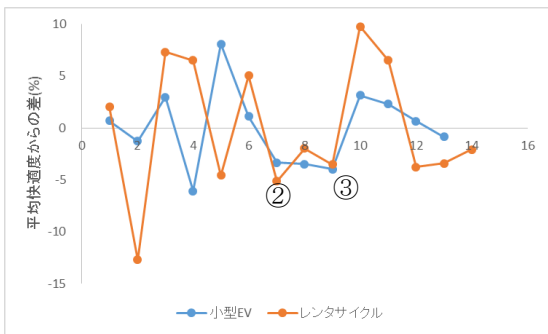


図 7 ルート 1 を走行した時の快適度変化

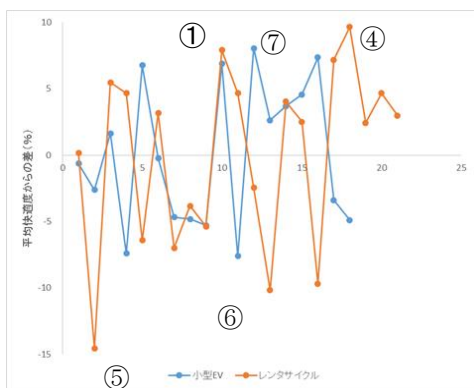


図 8 ルート 2 を走行した時の快適度変化

まず、図 7、図 8 のレンタサイクルと小型 EV の走行時の快適度は同じように変化していない。このことから、各モビリティ間で快適度に影響を与える走行環境が

異なることが分かる。そこで、地点毎の走行環境と走行時の快適度の変化の関係を明らかにするため、走行時の快適度に影響を与えている要素の抽出を行う。まず、両モビリティで快適度が高い地点（図中 1）の走行環境は自然景観が良い場所であった。また、両モビリティともに快適度が平均値を下回った地点は、交通量の多い地点（図中 2）や手入れのされていない外観の店が続く、街並みが悪いと言える地点（図中 3）であった。このことから、両モビリティともに交通量や景観に対する感度が高いと考えられる。

モビリティ別に見た場合、レンタサイクルで快適度が高い地点（図中 4）は道路整備が進められ、路面の質の変化と段差が少なく、振動があまり見られない地点であった。レンタサイクルで非常に快適度が低くなっていた地点（図中 5）は、とても交通量が多く、道幅が狭いことにより、快適度が低くなったと考えられる。このことから、レンタサイクル走行の快適度に影響を与えているのは、交通量、振動時間であると考えられる。

小型 EV では、快適度が低い地点はカーブが非常に多く、入り組んだ細い街路（図中 6）であった。これは、カーブや入り組んだ街路により、安定した速度で走行できないことが快適度を低くしたと考えられる。一方で、道路が広いことに地点（図中 7）では、快適度は高い結果を得た。これは、道路が広いことにより、視野が広くとれ、走行しやすいことの要因だと考えられる。このことから、小型 EV の走行環境要素は、視野に入る道路面積と速度変化が重要と考えられる。

4.4 快適度評価モデル

各モビリティにおける走行時の快適度と走行環境の関係をそれぞれモデル化する。走行環境データは、走行実験中に撮影した動画から 15 秒おきにキャプチャーした画像を用いて、抽出している。走行環境データの取得した環境要素と取得方法をまとめたものを以下の表にまとめる。

表 4 走行環境要素と取得方法

走行環境要素	取得方法
自然景観 (%)	空、海、樹木の占める割合を算出
交通量 (%)	都市景観*部分の車両の占める割合を算出
悪い街並 (%)	都市景観部分のシャッターが閉まっている建物、手入れのされていない建物が占める割合を算出
振動時間(秒)	走行中に振動している時間を算出
走行速度(kmh)	走行速度の平均値を算出している
道路面積 (%)	都市景観部分の道路が占める割合を算出
加速度(m/s ²)	(走行速度-10秒前の速度)/10で算出
備考	都市景観部分=全体-自然景観部分により算出

(1) レンタサイクル

まず、レンタサイクルを、被説明変数を快適度、走行環境の要素を説明変数として以下のような重回帰モデルで構築する。また、ここでは、身体的負担の影響が発生しないように、平地走行部の心拍データを用いている。モデル式は、以下となる。

$$\text{快適度\%} = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 \quad (8)$$

X_1 : 交通量 (%), X_2 : 走行速度 (km/h), X_3 : 振動時間 (秒), X_4 : 自然風景 (%), X_5 : 悪い街並 (%)

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$: 係数

表 5 快適度評価モデル(レンタサイクル)の分析結果

説明変数	レンタサイクル
	標準化係数 (t 値)
交通量 (%)	-1.17(-3.86)
振動時間 (秒)	-0.20(2.64)
走行速度 (km/h)	-0.22(-3.07)
自然風景 (%)	0.43(5.64)
悪い街並 (%)	-0.23(-3.05)
切片	63.46(5.24)
補正 R2	0.79
観測数	56

表 5 の結果より、交通量や自然風景が快適度に大きな影響を与えていることが分かった。交通量に関しては、小豆島の路肩が狭く、車との距離が近い道路が多いため、走行の安全性が失われることが要因だと考えられる。また、自然風景に関しては、自家用車に比べ速度が遅いことから周りの景色を楽しみながら走行することができる。また、悪い街並もより認識しやすいと考えられる。これらの影響から、自然風景や悪い街並のような景観が快適度に大きな影響を与えたのではないかと考えられる。

(2) 小型 EV

小型 EV の特徴として走行の自由度が高い点でレンタサイクルと似ていることから、同様の走行環境要素を分析する。ここでは、レンタサイクルと同一条件となる平地部のみのデータを用いてモデルを構築した。モデル式は以下となる。

$$\text{快適度\%} = \beta_1 Y_1 + \beta_2 Y_2 + \dots + \beta_5 Y_5 + \beta_6 \quad (9)$$

Y_1 : 交通量 (%), Y_2 : 道路面積 (%), Y_3 : 加速度 (m/s^2), Y_4 : 自然風景 (%), Y_5 : 悪い街並 (%)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_6$: 係数

表 6 快適度評価モデル(小型 EV)の分析結果

説明変数	小型 EV	
	全体	平地
	標準化係数 (t 値)	標準化係数 (t 値)
交通量 (%)	-0.23(-1.86)	-0.23(-1.83)
道路面積 (%)	0.28(2.18)	0.25(1.81)
加速度 (m/s^2)	-0.23(-3.25)	-0.24(-1.66)
自然風景 (%)	0.28(2.49)	0.26(1.93)
悪い街並 (%)	-0.20(-2.09)	-0.20(-1.51)
切片	13.31(3.88)	12.78(1.82)
補正 R2	0.60	0.56
観測数	54	34

表 6 の結果より、小型 EV で快適度への影響が強いのは、道路面積・自然風景であることが分かった。これは、細い道や急なカーブが続く道では、認識できる道路面積が小さくなり、走行のしやすさに影響を与えたと考えられる。また、自然風景はレンタサイクルと同様に、速度が自家用車と比べ遅いこと、また、窓がなく風を感じる事が可能な点で景観に対する感度が高かったことが影響していると考えられる。

4.5 運動強度の評価モデル

走行環境による運動強度の変化をモデル化する。レンタサイクル利用の制約となりうる身体的疲労を算出するため、走行実験のデータを用いて、単位秒あたりの心拍数 (bpm) を被説明変数に、走行速度 (km/h), 勾配 (%), 累計走行時間 (秒) を説明変数として重回帰モデルを構築する。回帰式は以下となる。

$$\text{心拍数(\%)} = \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3 + \gamma_4 \quad (10)$$

X_1 : 走行速度 (km/h), X_2 : 勾配 (%), X_3 : 累積時間 (秒)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$: 係数

ここで、累計走行時間は、勾配が 3% 以上の上り坂では 1 秒ずつ増加し、勾配が -3% 以下の下り坂では 1 秒ずつ減少するよう設定した。

表 7 運動強度推定モデルの重回帰分析結果

説明変数	係数 (t 値)
走行速度 (km/h)	1.80(12.9)
勾配 (%)	1.38(15.3)
累積時間(秒)	0.16(22.5)
切片	103(68.2)
補正 R2	0.77
観測数	420

表 7 の結果から、地点毎の勾配のきつさより、蓄積されていく疲労が身体的負担に与える影響は大きいと考えられる。これにより、周遊において休憩は重要であると考えられる。

5. 観光周遊ルートの提案

3 章で把握した観光客の行動の傾向と、4 章で作成した快適度評価モデルを用いた観光周遊ルートの提案と評価を行う。(図 9) 周遊ルートの提案では、まず各モビリティの走行制約を考慮した走行可能エリアの設定を行う。次に、3 章で把握した観光客の行動の傾向から、目的地と休憩地点の設定を行う。最後に、目的地間の移動時に走行が想定されるルートに対し、4 章で構築した快適度評価モデルを用いたルート評価を行い、より高い快適度を得られる観光周遊ルートを選定する。

1 運動強度モデル+充電による走行可能エリアの設定

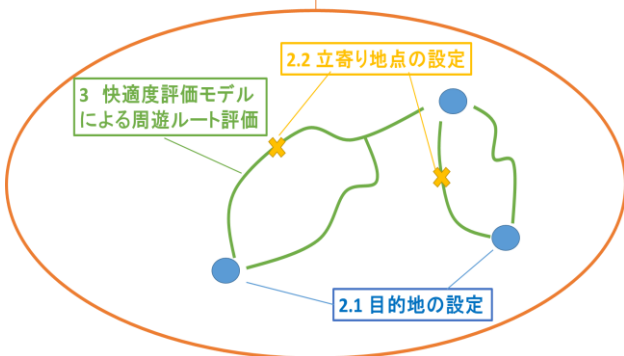


図 9 観光周遊ルートの設定までの流れ

5.1 走行可能エリアの設定

まず、走行可能エリアの設定基を行う。今回の走行可能エリアは、ふるさと村での発着を前提に設定する。

レンタサイクルの走行可能エリアは、身体的負担に関する以下の基準を用いて行う。

- (1) 運動強度が 80%以上での走行時間が 15 分以内 (健康のための身体活動に関する国際勧告¹⁰⁾)
- (2) 消費カロリーが 700kcal までの走行範囲 (健康づくりのための運動指針 2006¹¹⁾)
- (3) 勾配が 7%以下 (小杉¹²⁾)

また、カロリー消費を算出することで、運動レベルを分類する。カロリー算出に必要な酸素摂取量は、被験者の 22 歳男性の平均的な値とされている 38.5 mL/(kg・分)を用いた。また、体重は 72kg を用いて算出する。

各運動レベルはカロリー消費により分類でき、日常生活レベルは 300kcal 以内、エクササイズレベルは 300kcal~700kcal、700kcal 以上のカロリーを消費するうち、

(1)の条件を満たす場合、運動能力向上レベルとしている。(1)~(3)の条件を満たさないルートは、走行限界レベルとしている。これらを地図上に可視化したものを以下の図 10 に示す。



図 10 レンタサイクルの走行可能エリア

また、小型 EV の走行可能エリアは、充電なしでふるさと村発着が可能な走行ルートを考慮し、設定を行った。小型 EV の走行可能エリアを以下の図 11 に示す。



図 11 小型 EV の走行可能エリア

5.2 目的地の設定

次に、周遊可能なエリア内で、滞在回数が多い目的地を設定した。また、立寄施設に関しては、利用者の滞在行動を基に、目的地間を移動する時間が 30 分以上にならないような地点を設定している。各周遊ルートにおいて設定された滞在施設を以下の表 8 に示す。

表 8 ルート毎の設定した各滞在施設

項目	レンタサイクル		小型EV
	ルート1	ルート2	ルート3
目的地	エンジェルロード	オリーブ公園	オリーブ公園 24の瞳映画村
立寄施設	迷路の街	マルキン醤油	マルキン醤油
	コンビニ	鬼ヶ崎	鬼ヶ崎
		オリーブビーチ	オリーブビーチ
		オリーブ園	コンビニ
	コンビニ	スーパー	

5.3 観光周遊ルートの選択

最後に、各モビリティの快適度評価モデルを用いて、設定した目的地間と立寄施設を繋ぐ周遊ルートを選定した。

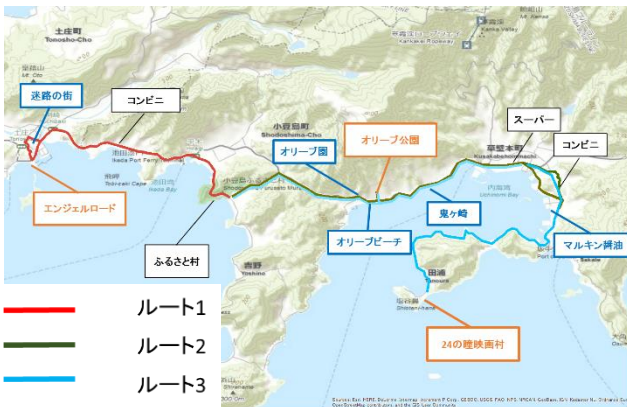


図 12 各モビリティの観光周遊ルート

これらの観光周遊ルートに対し快適度の評価結果を以下の表 9 に示す。

表 9 各周遊ルートの評価結果

項目	レンタサイクル想定		小型EV 想定
	平均快適度からの差	運動レベル	平均快適度からの差
ルート1	+11.4%	日常生活	+6.1%
ルート2	+11.6%	エクササイズ	+3.5%
ルート3	+3.3%	運動能力向上	+8.5%

この結果より、レンタサイクルと小型 EV の観光周遊ルートは、それぞれ、適切なモビリティで走行した方が快適度指標が高いことがわかる。このことから、周遊ルートの評価モデルを用いて、各モビリティに適した周遊ルートを設定することが有用であることを示した。

また、今回の周遊ルートの設定では起終点をふるさと村に設定しているが、出発地点や乗り捨て地点を考慮した観光周遊ルートの設定も可能である。このように、本研究で構築した評価モデルを統合して、各モビリティに適した観光周遊ルートを、より体系的に提案することができる。

6 結論

本研究では、心拍数を用いたレンタサイクルと小型 EV の観光周遊ルートの評価を行った結果、以下のような成果が得られた。

- レンタサイクルと小型 EV の走行時の GPS データの取得により、これらのモビリティの走行ルートの特徴としてレンタサイクルではふるさと村と市街地を結ぶ沿岸部での走行が多く、山間部などでの走行が少ないことから身体的負担による走行制約が見られた。一方、小型 EV では山間部や半島部での周遊が多く見られたが、走行範囲がレンタカーに比べ狭く、充電による走行制約があることが分かった。
- 心拍数データをもとに小型モビリティの心理的負担を評価する快適度評価モデルの構築とレンタサイクル利用時の身体的負担を評価する運動強度モデルを構築した。この結果、レンタサイクルの走行においては、交通量だけでなく、景観要素が快適度に影響を与えることを明らかにした。一方、小型 EV では、景観要素に加え、道路面積や加速度の要素が快適度に影響を与えていることを明らかにした。
- 心拍数データを用いた周遊ルートの快適度評価により、レンタサイクルと小型 EV に適した観光周遊ルートを体系的に提案できる設定方法を示した。

本研究で対案した各モビリティの周遊ルートは、土地勘のない観光客にとって有用な情報のコンテンツだと考え、実際に本研究の成果を基に、現在、小豆島において開催されている瀬戸内国際芸術祭に対し、レンタサイクルの観光周遊マップが作成され情報提供を行っている。これにより、起こる観光客の走行行動の変化を分析することが重要であると考えられる。

また、道路整備の内容を決める根拠の1つとしても利用できると考えられる。

本研究の課題として、本研究で行った走行実験やモデルの構築は、1人の被験者によるデータから作成している。これにより、個人差は存在していないが、すべての利用者に当てはまるとは限らない。また、本研究で設定した観光周遊ルートは起終点をふるさと村に設定しているため、他の出発点や乗り捨てを考慮した観光周遊ルートの分析が必要だと考えられる。

謝辞：本研究を結びに当たり、多くの方にご指導・ご協力を頂き感謝いたします。特に、小豆島ふるさと村に小型モビリティの貸出ならびに、GPS 受信機を用いた走行軌跡の取得に協力していただき、心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Bicycle Compatibility index, Development of the Bicycle Compatibility Index, <http://safety.fhwa.dot.gov/tools/docs/bcfinalrpt.pdf>, (2015/6/16 アクセス)
- 2) Bikeability Toolkit, Travel Smart, <http://www.traelsmart.gov.au/bikeability/>, (2015/6/16 アクセス)
- 3) 松丸未和, 大蔵泉, 中村文彦, 平石浩之, 都心部における自転車の走行環境の評価に関する研究, 土木計画学会講演集, No.26, 2001
- 4) 山中英生, 兼本広和, 滑川達, 振動特性に着目した自転車走行空間の評価, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 巻: 28 ページ: VI(182) 2003
- 5) 渡辺和憲, 金利昭, 心拍変動を用いた自転車利用者のストレス分析手法に関する考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, No.92, 2011
- 6) 鈴木清. 多様な道路利用者のユーザビリティを考慮した道路空間とネットワーク計画の策定方法に関する研究, PhD thesis, 香川大学, March 2014
- 7) 野竹 壮一郎, 吉田 長裕, 日野 泰雄, 内田 敬, 木村 穰, 簡易エネルギー消費推計法を用いた自転車走行空間の健康便益に関する比較実験, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5 (土木計画学研究・論文集第 29 巻), I_991-I_1003, 2012.
- 8) 広田 彰, 山下康夫, 心拍数からみた自転車走行の作業強度について, 人類学雑誌, Vol. 86 (1978) No. 4
- 9) 石田 眞二, 武田 超, 白川 龍生, 鹿島 茂, 鉄道サービスにおけるストレス軽減効果の検証, 運輸政策研究 15(2), 10-19, 2012 運輸政策研究機構
- 10) 健康のための身体活動に関する国際勧告 厚生労働省 2006
- 11) 健康づくりのための運動指針 2006, 厚生労働省
- 12) 小杉 理理子, 伊藤 史子, 市街地における自転車ルートに関するネットワーク分析: 横浜市青葉区青葉台駅周辺を対象として, 都市計画報告集 8-2(0), 70-75, 2009

(2016. 7. 30 受付)

ROUTE EVALUATION AND PROPOSAL OF SIGHTSEEING CIRCLE TRIP FOR COMPACT MOBILITY USING HEART RATE DATA

Yoshihiro EJIRI, Kazuki NAKAMURA and Masanobu KII

In recent years, in urban suburbs by population decline, mobility lack of tourists due to the reduction of public transportation is a serious problem. On the contrary, sightseeing circle trip use of compact mobility is expected but it has large constraints of the travel area. In addition, identification and evaluation of the attractive elements of the driving environment in the round route that connects between destinations have not been. Therefore, in this study, by using the indexes of psychological and physical burden that is based on heart rate data, make proposals and evaluation of the round route for the compact mobility. Specifically, the grasp of the tourist round route from the GPS data, the construction of evaluation models of psychological and physical burden using the data of the heart rate and the driving environment by the driving experiment, proposed the round route using valuation models. As a result, the traveling environment is found that the influence on the psychological burden is different for each mobility. So, it showed that the proposed sightseeing circle trip in consideration of the driving environment element is important.