

走行快適性を考慮した個別化サイクリングルート推薦手法の提案

品田 悠斗[†] 田中 梨沙[†] 川崎 愛依[†] 栗 達[†] Siriaraya Panote^{††}

河合由起子^{†††} 中島 伸介[†]

[†] 京都産業大学情報理工学部情報理工学科 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{††} 京都工芸繊維大学 情報工学・人間科学系 〒606-8585 京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町

^{†††} 関西大学ビジネスデータサイエンス学部ビジネスデータサイエンス学科 〒565-8585 大阪府吹田市山田南50-2

E-mail: †{g2353766,g2253974,g2253370,lida,nakajima}@cc.kyoto-su.ac.jp, ††spanote@kit.ac.jp, †††ykawa@kansai-u.ac.jp

あらまし 近年、移動手段や趣味として自転車を利用する人が一定数存在する。しかし、既存の経路案内システムの多くは距離や所要時間を重視しており、自転車走行時の快適性が十分に考慮されていない。自転車での走行においては、信号機による頻繁な停止や道幅の狭さが走行のしにくさやストレスの要因となる。本研究では、自転車走行時の快適性に着目し、自転車にとって走りやすい道を推薦する経路案内システムを提案する。提案システムでは、利用者が走行したい距離を入力することで目的地を設定し、信号機の少なさや道幅の広さといった自転車走行における快適性要素を考慮した経路を生成する。これにより、従来の最短での経路案内とは異なり、自転車利用者の走行中の快適性を重視した経路提示が可能になると考えられる。

キーワード 自転車, サイクリング, ルート推薦, ポジティブエリア

1 はじめに

近年、日本における自転車の利用は横ばいであるが、自転車の保有状況を見ると、自転車の保有台数は1世帯に1台とされており、世界的にみても自転車の保持数は上位である。このことから、自転車が多く国民にとって身近な移動手段であることがわかる。また、移動における自転車の分担率は約13%に達しており自動車や公共交通機関と並ぶ重要な交通手段として位置付けられている[1]。また、自転車や歩行の移動時にスマートフォンを利用して経路を検索することが一般的になっている。

サイクリングルートを推薦する手法として、既存の経路推薦システムは所要時間や距離が最短経路になるように推薦するシステムなどがある。しかし、図1に示すように、さまざまな要因によりサイクリングにおける快適性は低下するため、最短経路を推薦する従来のシステムでは快適なサイクリングルートを推薦することはできない。そこで先行研究では、走行中の表情と走行後の記憶から走行環境に対する潜在的快適性を抽出することでポジティブ・ネガティブエリアを判定し、快適な経路推薦を行うシステムを提案している[2]。ただし、各エリアがポジティブもしくはネガティブと判定された理由については明確化できていない。人によってポジティブやネガティブと感ずる理由はことなるため、我々は将来的にルート推薦のパーソナライゼーションを実現するためにも、ポジティブおよびネガティブエリアの判定理由を明確にすることが重要であると考えた。そこで本稿では、走行快適性を考慮した個別化サイクリングルート推薦手法を提案することを目的としている。まずは走行快適性に関連する経路周辺情報について検討すると共に、基本的

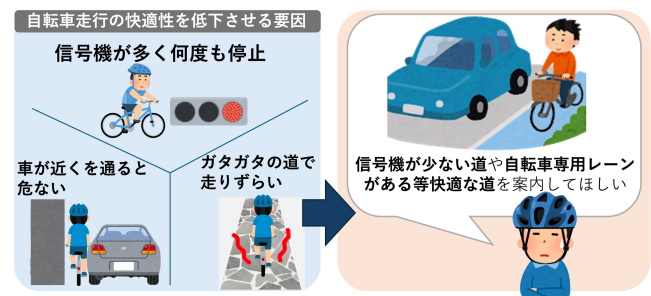


図1 サイクリングにおける快適性を低下させる要因

なサイクリングルート推薦手法を提案する。また、どのようなルートがユーザにとってポジティブもしくはネガティブなのかをアンケートによって調査する。アンケート調査から得られる結果に基づいて、重要視する経路周辺情報について議論する。

以下、本論文の構成を示す。2章では関連研究との比較を行い、3章では提案手法について述べる。4章ではサイクリングにおける快適性に関する調査について述べ、5章で本稿のまとめを示す。

2 関連研究

自転車におけるルート推薦の研究は近年活発に行われている。

縄野らの研究[3]では、交通ルール違反による自転車事故の増加を解決することを目的に、交通規則を遵守した自転車用ナビゲーションシステムを提案している。自動車用ノードマップを拡張し、左側通行を考慮した経路探索アルゴリズムを構築するとともに、既存探索モード、左側通行探索モード、左側通行+

徒歩探索モードの三種の経路探索手法を提案した。シミュレーション実験により、左側通行を遵守しても旅行時間の増加は小さいことを示し、さらにアンケート調査を通じて、提案システムがユーザーに受容される可能性を明らかにしている。しかし、サイクリングの安全性の向上を重視しているため、快適性を考慮したルート推薦になっていない。

武安らの研究 [4] では自転車走行時の快適性低下の要因となる路上障害物に着目し、走行挙動データを用いて障害物を検出し、快適な経路推薦を行う手法を提案している。自転車に搭載したセンサから取得した加速度や角速度などの挙動データを基に特徴量を抽出し、機械学習（決定木）を用いて障害物回避挙動を検出することで、道路上の障害物位置を推定している。しかし、快適性の要因を路上障害物に主に限定しており、信号機の数や道幅といった道路構造に起因する走行のしやすさについては十分に考慮されていない。

Lé de Matos らの研究 [5] は、複数の自転車走行指標を統合した自転車ナビゲーション用情報システムを提案している。走行時間、エネルギー消費、努力度分布、インフラ性能、安全性、快適性、排出ガスホットスポットの 7 指標を用い、GIS 上でリンクごとに評価値を算出し、多目的な経路最適化を実現している。ポルトガル・アヴェイロ市を対象に、GNSS、心拍センサー、車載カメラを搭載した自転車による実測データと既存統計データを組み合わせ、Dijkstra 法により指標ごとの最適経路を導出した。ケーススタディの結果、指標の違いによって選択される経路に明確なトレードオフが生じることを示し、利用者の嗜好に応じた経路提示や、都市計画・自転車インフラ整備への活用可能性を示している。しかし、主に定量的な走行指標に基づく評価に重点を置いており、ユーザーの主観的体験を直接的に扱っていない。

Zhong らの研究 [6] は、シェアサイクル利用者を対象に、駅の自転車・ドック空き状況予測と安全性を考慮した経路推薦システム SAFEBIKE を提案している。Citi Bike のリアルタイム・履歴データを用いて駅ごとの自転車およびドックの将来空き数を予測し、さらに犯罪発生データを用いて道路の安全性を評価する。これらを距離指標と統合し、Dijkstra 法に基づく多目的最適化により、最短経路・最安全経路・可用性を考慮した最適経路を推薦している。ニューヨーク市マンハッタンを対象としたケーススタディにより、安全性、距離、駅可用性のトレードオフを考慮した実用的な経路推薦が可能であることを示している。しかし、は安全性や距離、駅可用性は考慮されているものの、走行時快適性は考慮されていない。

これらの研究では、安全性や効率性、特定の快適性を考慮したルート推薦が行われる一方、信号機の数や道幅といった要因に基づく快適性を考慮し、ユーザーが走りやすいルートを提示する仕組みは検討されていない。本研究では、アンケート調査に基づいてユーザーが快適だと考える条件を示し、それらを考慮したルート推薦システムを提供することを目指す。

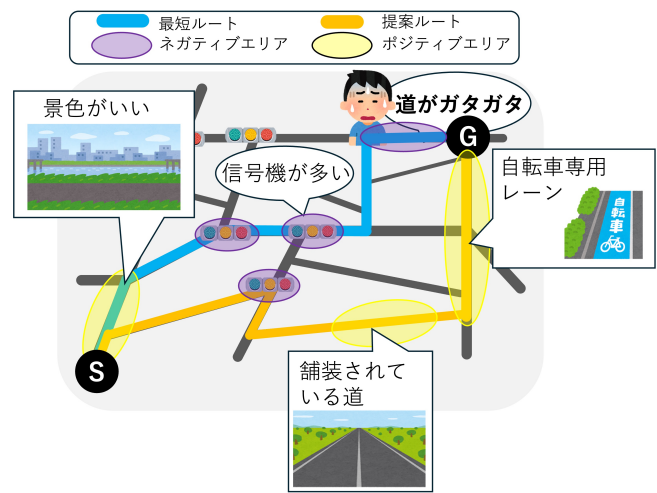


図 2 サイクリングにおける最短ルートと推薦ルートのイメージ

3 走行快適性を考慮した個別化サイクリングルート推薦手法

3.1 提案手法の概要

既存のルート推薦システムと提案するシステムの概要を図 2 に示す。ユーザーに目的地を設定してもらい、その目的地までの経路の中で走りやすいと感じるようなポジティブなエリアを優先して推薦する、一方で走りにくいと感じるようなネガティブなエリアを避けるサイクリングルートの推薦を行う。使用データの例として信号機の位置や自転車専用道路の有無、交通情報、道幅などが挙げられる。

3.2 システム実装に向けた検討事項

提案システムを実現するためには三つの検討事項がある。

一つ目はルート推薦を行う上でのデータの収集である。データを収集する方法として下記のデータを使う。

- OpenStreetMap
- 国土交通省の交通情報 [7]

OpenStreetMap からは、信号機の位置や自転車専用道路の有無などの道路構造に関する情報を収集する。また、国土交通省の交通情報からは、道路ごとの交通量を取得する。

二つ目は、ポジティブエリアおよびネガティブエリアの定義である。ユーザーがサイクリング中で快適さを感じるためには、ルート上の道路環境や道路の特徴を考慮することが必要である。そこで本研究では、道路環境や特徴に基づいて走りやすいエリアをポジティブエリア、走りにくいエリアをネガティブエリアと定義し、サイクリングルートの算出を行う。以下にそれぞれの代表的な例を示す。

ポジティブエリアの例

- 自転車専用道路がある
- 道幅が広い
- 信号機や一時停止が少ない

ネガティブエリアの例

- 交通量が多い
- 道の舗装状況が悪い
- 細い路地

三つは目はポジティブエリアを優先的に選択し、ネガティブエリアを回避するルートを算出するアルゴリズムである。本研究では、ルート探索アルゴリズムとしてダイクストラ法の利用を検討している。具体的にはポジティブエリアを通るルートのコストを低く設定する一方でネガティブエリアを通るルートのコストを高く設定する。これにより、総コストが最小となるルートとして、走行しやすく快適性の高いルートが推薦される。

4 サイクリングをする上で重視される経路の特徴の調査

本章では、3.2節で説明したポジティブおよびネガティブエリアに関して実施した意識調査アンケートについて説明する。本調査は、サイクリングする上で快適なルートの特徴を明らかにすることを目的としている。

4.1 調査方法

今回のアンケート回答者は70名であった。しかし、被験者の自転車に乗る頻度の調査の結果、自転車に全く乗らないと回答した人が18名いたため、その18名を除いた52名の回答結果を分析した。被験者には、表1に示した道路特徴の質問項目それぞれに対する自転車走行時の快適性に影響について尋ねた。その際、以下に示す5段階評価により回答してもらい、その分布を踏まえて議論を行った。

- 全くそう思わない
- ややそう思わない
- どちらでもない
- ややそう思う
- 全くそう思う

4.2 自転車走行時の影響の調査結果

「信号機の数」の影響

図3に、「信号機の数」が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示す。図3より、信号機の数」が快適性に影響すると多くの回答者が考えていることが分かる。図4は自転車走行時の経路上の「理想の信号機の数」という質問に対する回答結果（割合）を示しており、自転車走行経路上の信号機は少ない方が望ましいと考える回答者が61%と多いことが分かる。

表1 アンケート質問項目

信号機の数
道幅
道の舗装状況
自転車専用道路の有無
交通量
車の種類
歩道と車道との段差
見通しの良さ
歩道の有無
景色の良さ
坂道の長さ
坂道の傾斜の強さ

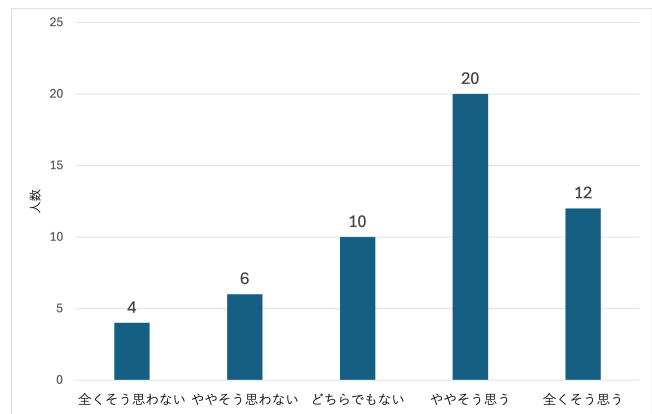


図3 「信号機の数」が快適性に影響があるか」への回答

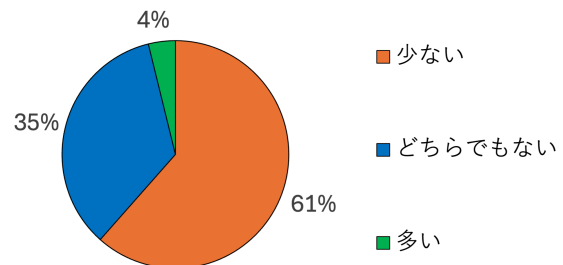


図4 「理想の信号機の数」に対する回答

「道幅」の影響

図5に、「道幅」が自転車走行時の快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示す。図5より、道幅は快適性に影響すると考える回答者が多いことが分かる。図6は自転車走行時の経路上の「理想の道幅」という質問に対する回答結果を示しており、自転車走行時の経路の道幅は広い方が望ましいと考える回答者が79%と多いことが分かる。

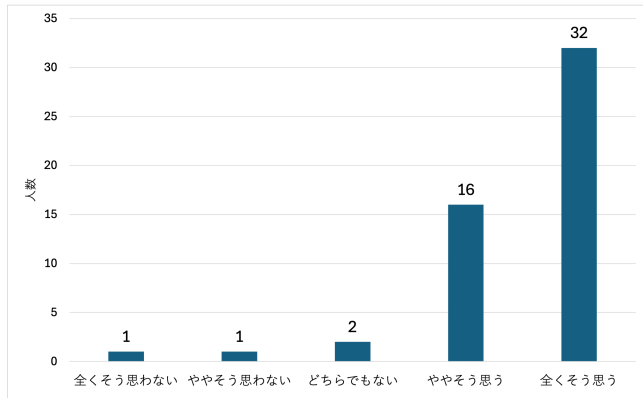


図5 「道幅が快適性に影響があるか」への回答

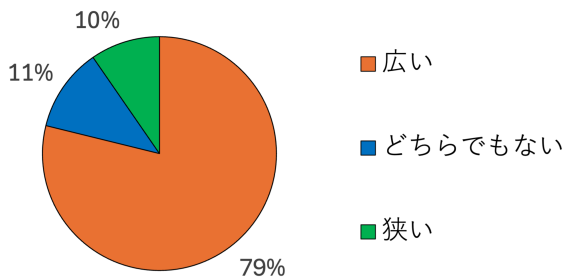


図6 「理想の道幅は」に対する回答

「道の舗装状況」の影響

図7に、自転車走行時「道の舗装状況が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示す。図7より、多くの回答者が道の舗装状況は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。また、図8は自転車走行時の「理想の道の舗装状況」という質問に対する回答結果（割合）を示しており、道の舗装状況は良い方が望ましいと考える回答者が81%と多いことが分かる。

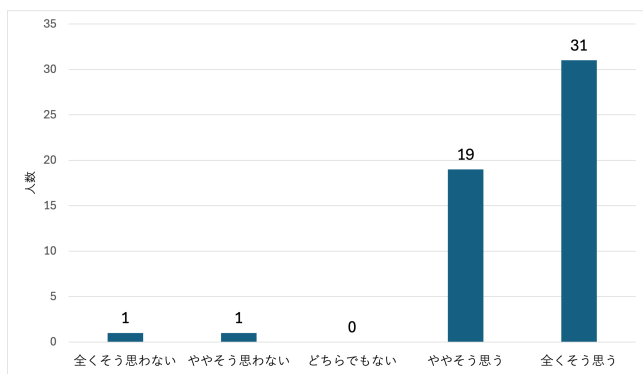


図7 「道の舗装状況が快適性に影響があるか」への回答

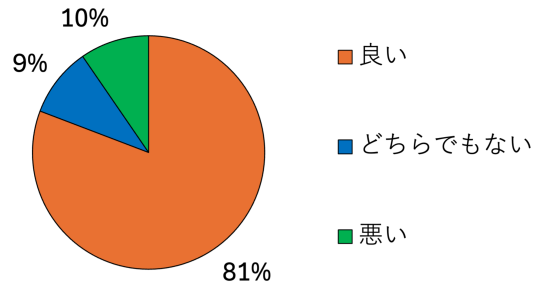


図8 「理想の道の舗装状況は」に対する回答

「自転車専用道路の有無」の影響

図9に、「自転車専用道路の有無が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示す。図9より、多くの回答者が自転車専用道路の有無は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図10は、「理想の自転車専用道路の有無は」という質問に対する回答結果を示しており、自転車専用道路はある方が望ましいと考える回答者が79%と多いことが分かる。

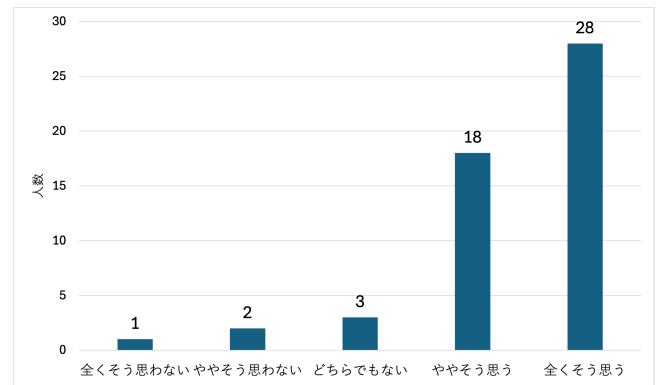


図9 「自転車専用道路の有無が快適性に影響があるか」への回答

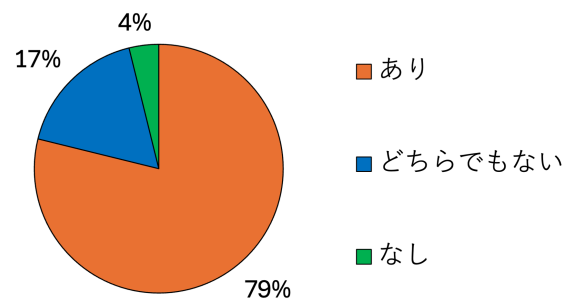


図10 「理想の自転車専用道路の有無は」に対する回答

「交通量」の影響

図11に、自転車走行時「交通量が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図9より、多くの回答者が自転車専用道路の有無は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。また、図12は「理想の交通量は」という質問に対する回答結果を示しており、交通量は少ない方が望ましいと考える回答者が81%と多いことが分かる。

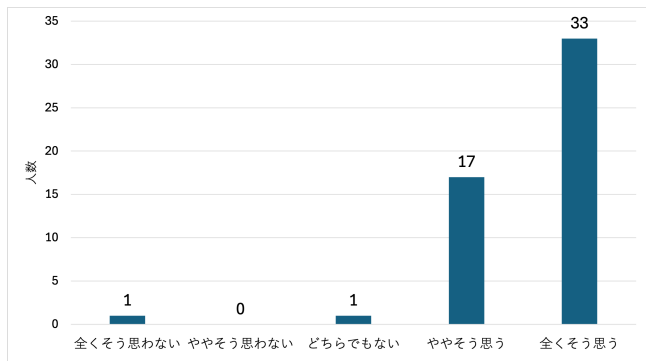


図 11 「交通量が快適性に影響があるか」への回答

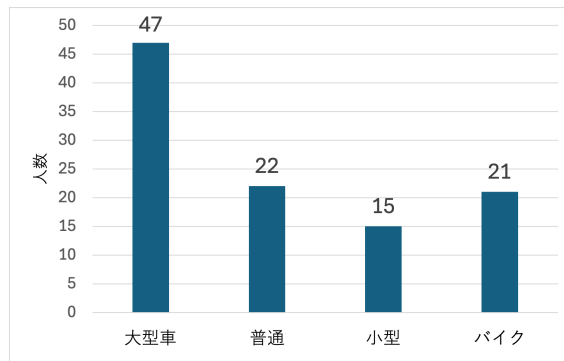


図 14 「快適性に影響がある具体的な車の種類は」に対する回答

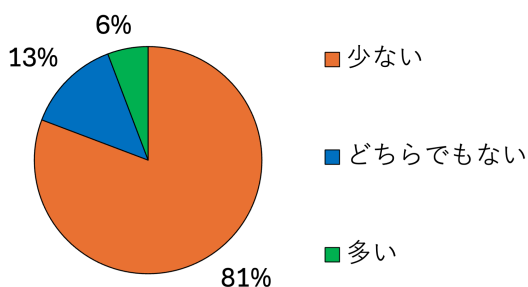


図 12 「理想の交通量は」に対する回答

「横を走行する車の種類」の影響

図 13 に、自転車走行時「横を走行する車の種類が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 13 より、多くの回答者が車の種類は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図 14 は、「快適性に影響がある具体的な車の種類は」という質問に対する回答結果を示しており、大型車（トラックやバスなど）が最も快適性に対して影響があると考えられていることが分かる。普通車（乗用車）やバイクは一定数の回答があったため、小型車に比べて快適性に影響があると考えられていることが分かる。

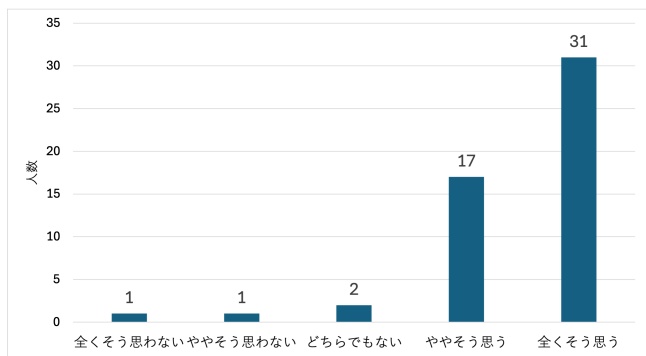


図 13 「横を走行する車の種類が快適性に影響があるか」への回答

「車道と歩道の段差」の影響

図 15 に、自転車走行時「車道と歩道の段差が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 13 より、多くの回答者が車道と歩道の段差は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図 16 は「理想の車道と歩道の段差は」という質問に対する回答結果を示しており、歩道と車道の段差はない方が望ましいと考える回答者が 75%と多いことが分かる。

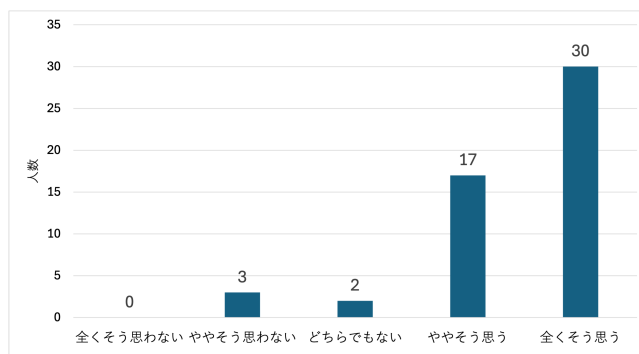


図 15 「車道と歩道の段差が快適性に影響があるか」への回答

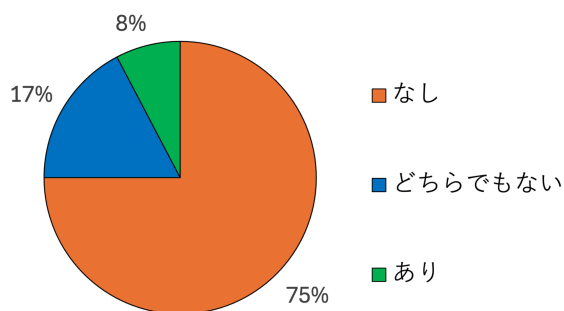


図 16 「理想の車道と歩道の段差は」に対する回答

「見通しの良さ」の影響

図 17 に、自転車走行時「見通しの良さが快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 17 より、多くの回答者が見通しの良さは快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図 18 は「理想の見通しの良さは」という質問に対する回答結果を示しており、見通しの良さは良い

方が望ましいと考える回答者が 88%と多いことが分かる。

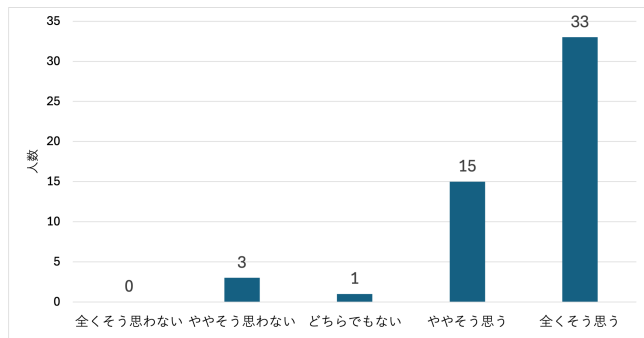


図 17 「見通しの良さが快適性に影響があるか」への回答

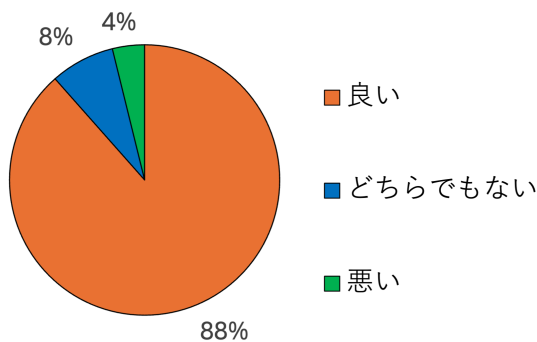


図 18 「理想の見通しの良さは」に対する回答

「歩道の有無」の影響

図 19 に、自転車走行時「歩道の有無が快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 19 より、多くの回答者が歩道の有無は快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図 20 は「理想の歩道の有無は」という質問に対する回答結果を示しており、「どちらでもない」と回答している回答者が 40%と一定数存在するものの、歩道はある方が望ましいと考える回答者が 56%と多いことが分かる。

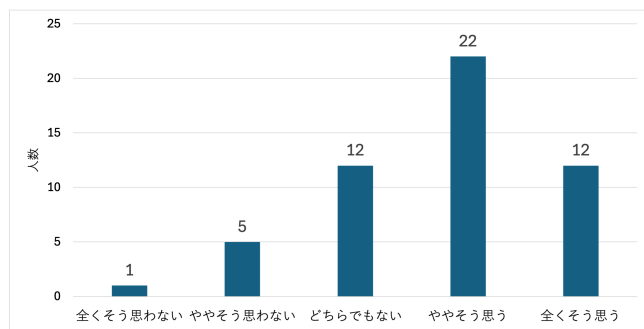


図 19 「歩道の有無が快適性に影響があるか」への回答

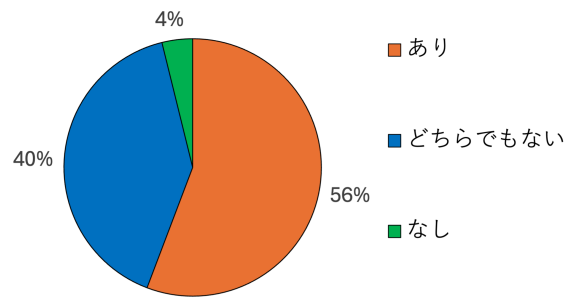


図 20 「理想の歩道の有無は」に対する回答

「景色の良さ」の影響

図 21 に、自転車走行時「景色の良さが快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 21 より、「ややそう思う」「全くそう思う」を回答している人は半数のため、半数の回答者が景色の良さが快適性に影響を与えていると考えることが分かる。

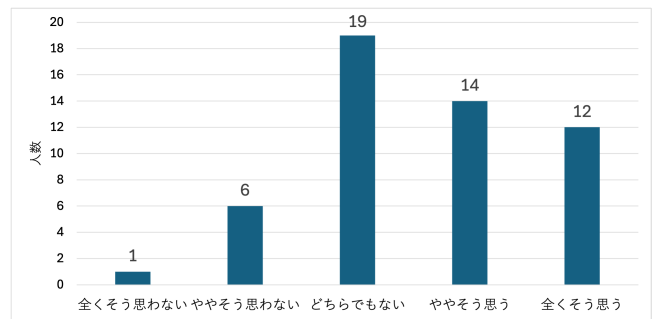


図 21 「景色の良さが快適性に影響があるか」への回答

「坂道の長さ」の影響

図 22 に、自転車走行時「坂道の長さが快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 22 より多くの回答者が坂道の長さは快適性に影響を与えていると考えることが分かる。なお、図 23 は「理想の歩道の有無は」という質問に対する回答結果を示しており、坂道の長さは短い方が望ましいと考える回答者が 67%と多いことが分かる。

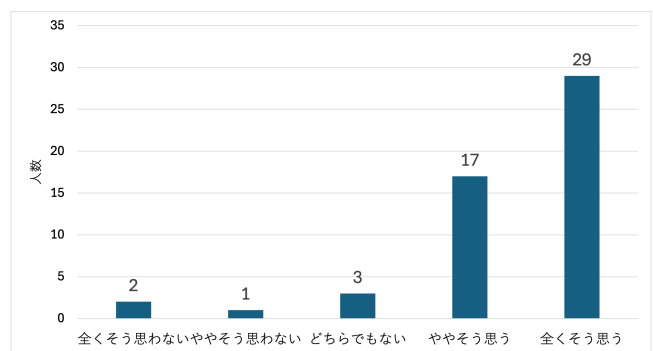


図 22 「坂道の長さが快適性に影響があるか」への回答

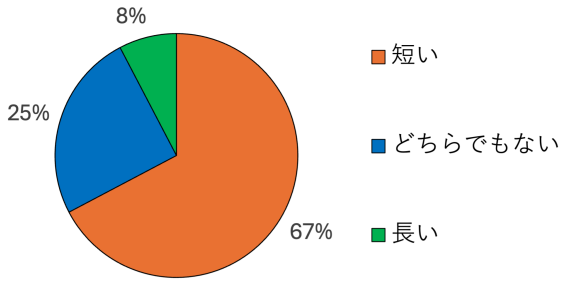


図 23 「理想の坂道の長さは」に対する回答

「坂道の傾斜の強さ」の影響

図 24 に、自転車走行時「坂道の傾斜の強さが快適性に影響があるか」という質問に対する回答結果を示している。図 24 より多くの回答者が坂道の傾斜の強さは快適性に影響を与えていることが分かる。なお、図 25 は「理想の坂道の傾斜の強さは」という質問に対する回答結果を示しており、坂道の傾斜の強さは弱い方が望ましいと考える回答者が 85%と多いことが分かる。

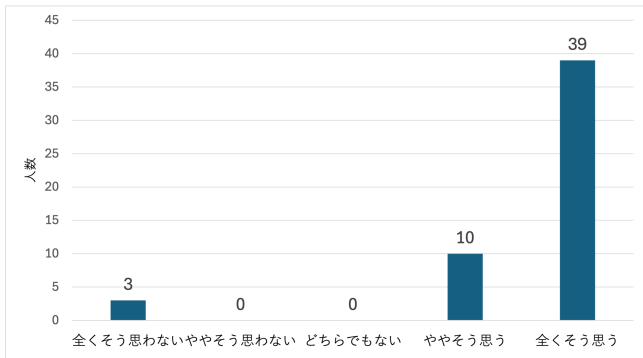


図 24 「坂道の傾斜の強さが快適性に影響があるか」への回答

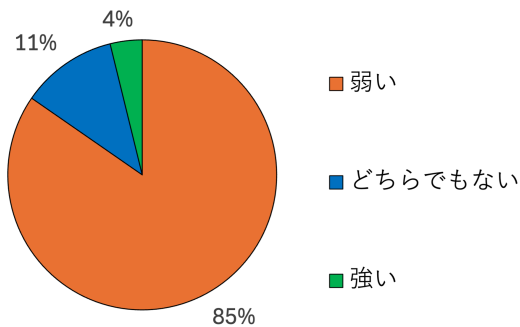


図 25 「理想の坂道の傾斜の強さは」に対する回答

「走行快適性への各道路特徴」の影響（まとめ）

これまで示した走行快適性への各道路特徴の影響に関する結果をリッカート尺度で数値化し、平均化したものを図 26 に示す。「全くそう思わない」を 1 点、「ややそう思わない」を 2 点、「どちらでもない」を 3 点、「ややそう思う」を 4 点、「全くそう思う」を 5 点としている。図 26 より、どのような道路特

徴が多く回答者の中で重要なかがわかる。図 26 から、自転車走行時の快適性を高める上でどの道路特徴を優先すればいいかがわかった。しかし、データの取りやすさには差がある。今回、使用するデータからは「信号機」や「自転車専用道路」「交通量」などは容易に収集できる。しかし、「車の種類」「歩道と車道の段差」などは容易に収集することができない。そのため、システムを構築していく上では「信号機」や「自転車専用道路」などデータの収集が容易なものから行っていこうと考えている。

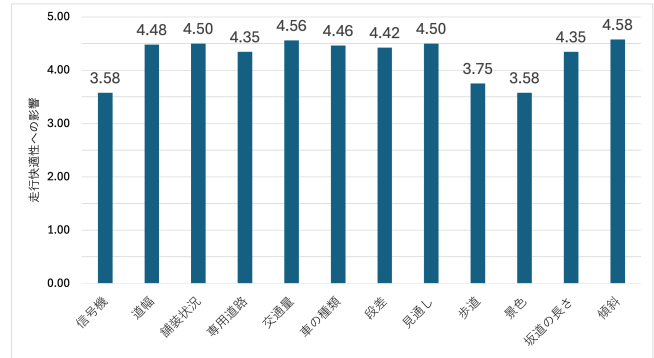


図 26 走行快適性への各道路特徴の影響（5段階平均）

その他の、自転車走行時の快適性に影響がある要素として挙げられたものを表 2 にまとめる。表 2 にまとめたもの要素は、同じ経路であっても日によって状況が変化してしまうものである。そのため、一度快適だと感じた経路が、違う日には歩行者の増加や風の影響で快適性が低下する可能性があることが考えられる。

表 2 その他の要素

天気
歩行者の多さ
風の強さ
路面の状況 (濡れていると滑りやすい)
気温

4.3 考 察

結果から、今回挙げた 12 個の道路特徴は、自転車走行時の快適性に影響があると考えられる。図 26 より道路特徴で信号機の数、歩道の有無、景色の良さは他の道路特徴よりも 5 段階平均が低くなった。

図 26 の信号機の数への快適性への影響が他より低くなった原因は乗る人の走行距離が異なるからだと考えられる。長い距離だと経路上の信号機の数が多くなり、止まる回数が多くなる。そのため、停止と再加速を繰り返すことによって、余計な体力を使うことになる。また信号機の待ち時間が増えることで結果的に移動時間の増加につながってしまう。一方で、短い距離だと、経路上の信号機の数が多くないため、信号機による止まる回数が少なくなる。よって停止と加速を繰り返すことがない。また信号機による待ち時間も少ないものになる。このようなことから、信号機の本数は自転車利用者の距離が大きく影響していると

考える、長距離利用者ほど快適性を損なう要素として判断され、短距離利用者は快適性に影響がないと判断されたと考えられる。結果として、回答者ごとに走る距離が異なるため、平均が低くなったと考えられる。

歩道の有無の快適性への影響が低くなった原因は、自転車は原則、車道を走らなければいけないため [8]、歩道の有無によって走る場所が変わらないことになり快適性に影響が出ないと考えられる。また歩道を走れたとしても歩行者優先でなければならぬため、徐行しなければいけない。この点においても快適性に影響が出ないと予想した。しかし、図 26 より、他の道路特徴よりも低い結果になったが、ある程度快適性に影響が出ていると回答した人がいた。理由としては歩道があることで歩行者を避ける必要がなくなるため、徐行する必要がなくなることで走りやすくなることで快適性への影響があると回答した人いたのではないかと考える。

景色の良さの快適性への影響が低くなった原因は、自転車に乗る目的だと考える。今回のアンケートでは、通勤・通学やその他の移動手段として自転車を利用している人が多かった。そのため、景色が良いかよりも、安全性や走りやすさの方が快適性に影響を与えていると考えている人が多かったのではないかと考える。また、自転車乗車中では歩行者や、自動車など意識することが多いため、景色にまで意識していないのではないかと考える。

図 4 の「理想の信号機の数」で多い方が理想という回答が 4 %と存在しているが、これらの回答者は信号機の増加によって車や歩行者の飛び出しが抑制されると考え、自転車走行時の安全性を重視している可能性が考えられる。図 6 の「理想の道幅」で狭い方が理想という回答が 10 %と存在しているが、これらの回答者は道幅が狭くなると交通量も減少するため、交通量を快適性の中で重要視している可能性が考えられる。一方で、図 12 の「理想の交通量」で多い方が理想という回答が 6 %と存在しているが、これらの回答者は、交通量の多い道路は道幅が広く、街灯も多く設置されているため、夜間でも安心・快適に走行できると考えた可能性が考えられる。図 23 の「理想の坂道の長さ」で長い方が理想という回答が 8 %と存在しているが、これらの回答者の中に自転車の利用目的が運動の人がいたため、坂道による負荷が欲しいと考えている可能性がある。このように理想値の結果から、人によって価値観が異なるため、ポジティブエリア・ネガティブエリアも人によって異なることがわかった。また、今回のアンケート回答者には多くの人が影響があると考えている項目に影響がないと回答している人がいた。このようなことから、同じ経路を推薦した場合に、快適性の向上がつかないことがあると考える。そのため、パーソナライズ化を行い、好みを反映した経路をユーザごとに推薦する必要があると考える。

5 ま と め

本稿では、走行快適性を考慮した個別化サイクリングルート推薦手法の提案を行った。また、サイクリングにおける走行快

適性に対して、ポジティブな要素やネガティブな要素について整理するとともに、サイクリングにおける快適性に影響する特徴についてアンケート調査を実施した。アンケート結果から道路特徴の優先すべき特徴が分かった。また、各道路特徴における理想からポジティブな要素とネガティブな要素が分かった。今後はこの結果を踏まえて、走行快適性を考慮した個別化サイクリングルート推薦システムの構築に取り組む予定である。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費（課題番号：23K24955）および京都産業大学先端科学技術研究所（人間情報学研究センター）共同研究プロジェクト（M2301）の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] 国土交通省. 自転車の活用に関する現状について. <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/bicycle-up/06pdf/02.pdf>.
- [2] 山口 琉太, 村重 圭亮, 矢野 英人, 義久 智樹, 河合由起子, and 下條 真司. 自転車走行中の表情と振動による潜在的快適性分析の検討. In 第 16 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 2024.
- [3] 縄野 太一 and 間邊 哲也. 交通法規を遵守した自転車用ナビゲーションシステムについて. In 電子情報通信学会, 2014.
- [4] 武安裕輔 and 白石陽. 快適な車道推薦のための自転車挙動データをを用いた障害物検出手法. In マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, 2017.
- [5] Carlos Sampaio Joaquim Macedo Margarida C. Coelho Jorge Bandeira Francisco Lé de Matos, José Maria Fernandes. Development of an information system for cycling navigation. In *Transportation Research Procedia*, volume 52, 2021.
- [6] Kaiqun Fu Chang-Tien Lu Weisheng Zhong, Fanglan Chen. Safebike: A bike-sharing route recommender with availability prediction and safe routing. In *arXiv*, 2017.
- [7] 国土交通省. 令和 3 年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計表. <https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/>.
- [8] 警視庁. 自転車安全利用五則. https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kotsu/jikoboshi/bicycle/menu/five_rule/five_rule01.html.