

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

縄野太一[†] 間邊哲也[†]

[†] 埼玉大学大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: [†] {nawano,manabe}@mnb.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、交通ルール違反による自転車事故増加の問題を解決するために、交通法規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。まず、左側通行を遵守した経路探索のために、自動車用のノードマップの拡張と経路探索アルゴリズムの確立を行っている。次に、三種の経路探索手法(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)を構築し、左側通行を遵守した場合の旅行時間についての評価実験を行っている。その結果、左側通行を遵守しても時間の増加は少ないことを示している。また、システムの受容可能性についてもアンケート調査を行い、提案システムの受容の可能性を確認している。

キーワード 自転車用ナビゲーション, 経路探索

On Bicycle Navigation System Following Traffic Rules

Taichi NAWANO[†] Tetsuya MANABE[†]

[†] Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

E-mail: [†] {nawano,manabe}@mnb.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper proposes a bicycle navigation system following traffic rules in order to solve the problem of increasing bicycle accidents depend on violation of traffic rules. First, we extend node maps constructed for cars and establish route search algorithm following the left-hand traffic. Next, we construct three types of route search methods (existing search mode, left-hand traffic search mode, left-hand traffic and walking search mode) and perform an evaluation experiment about the travel time following the left-hand traffic. The result shows the increase of the time following the left-hand traffic is small. Also, we do a questionnaire survey and check that the proposed system is acceptable.

Keywords Bicycle navigation, Route search

1. まえがき

自転車利用者が増加している[1]。災害時に渋滞や遅延といった交通事情の影響を受けにくいことや、通勤・通学や買い物以外にも健康増進[2]や環境保全など利用目的が多様化していることがその理由としてあげられる。また、シェアサイクル利用者も増加しており[3]、観光やビジネスなど出先での交通手段としても利用されている。

自転車は原則車道を左側通行することになっているが、車道が狭く車の横を通行するのが困難な場合など安全のためにやむを得ない場合、歩道通行が認められている。しかし、都市部の歩道を有する道路において、やむを得ない場合以外での歩道通行や逆走などの交通ルール違反による自転車事故が増加している[4]。その背景として、土地勘のない場所ではどこで横断すべきか判断が難しいことや、訪日外国人のように日本独自の交通ルールを知らない利用者が、正しい交通ルールを知らずに違反を犯してしまうという問題がある。

この問題の解決法の一つとして自転車用ナビゲーションシステムがあげられる。しかし、既存のシステム(例えば[7])では、自転車が通行してはいけない経路を案内する場合がある。

本稿では、自転車通行の特徴を経路探索に反映し、

交通法規を遵守した自転車用ナビゲーションシステムの実現を目指す。交通法規を遵守した際に、既存のシステムと比較して旅行時間がどのくらい増加するかを求めて、提案するシステムの旅行時間について評価を行う。また、アンケート調査によって、システムの受容可能性についても評価を行う。

2. 自転車の利用とナビゲーションシステムに関する従来研究

2.1. 自転車の通行方向に関する従来研究

文献[5]では自転車の通行方向別に事故率を比較しており、車道を走行しているとき右側通行をする自転車の事故率は左側通行の2.8倍となること、歩道を走行しているとき右側通行をする自転車の事故率は左側通行の2.7倍となることが示されている。

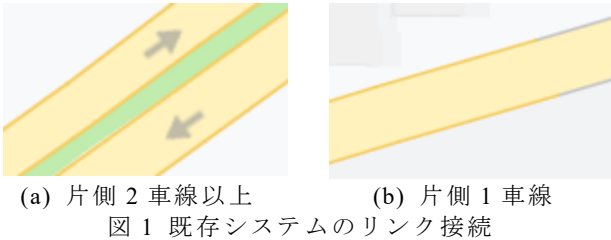
文献[6]では自動車との出会い頭事故の事故率を算出しており、右側通行をする自転車の事故率が左側通行に比べて高いことが示されている。

2.2. 自転車用ナビゲーションシステムに関する従来研究

既存の自転車用ナビゲーションシステムの例として、最短距離や坂道の数、交通量によって経路探索が可能

な自転車 NAVITIME[7]やトレーニングを行うユーザーの好みに合わせた edge[8]がある。自転車を含む超小型低速車両(Slow Vehicle)用ナビゲーションシステムに関する従来研究では、走行環境に対するユーザーの好みをリンク重みのコストに用いた文献[9]がある。

しかし、既存のシステム[7]は自動車用のノードマップを流用しているため、片側2車線以上の道路のみ上下のリンクが存在する(図1)、小さい横断歩道にはリンクが存在しない。その結果、自転車が通行できない、または交通ルール違反となる経路が案内されてしまう問題が発生することがある。



本稿では、交通法規に基づいてリンクの重み付けを行い、自動車用のノードマップの拡張と経路探索アルゴリズムの確立により、交通法規を遵守した自転車用ナビゲーションシステムの実現を目指す。

3. 左側通行を遵守した自転車用ナビゲーションシステムの構築

3.1. 経路探索のためのノードマップの拡張と経路計算アルゴリズムの確立

既存のシステムではノードマップが図2(a)のように表現されていた。そこで、本稿では片側1車線の道路に対して、図2(b)のように上下のリンクを新たに設定した。横断歩道については、その大小によらず全てにリンクを設定した。また、出発地・目的地をリンクまたはノード上に設定した。さらに、右側通行となるリンクの重みを ∞ に設定し、図2(c)のようにノードマップを拡張した。

提案するシステムでは、出発地に隣接するノード O_1 , O_2 から目的地に隣接するノード D_1 , D_2 に対してそれぞれ Dijkstra 法[10]を用いて、リンク重みのコストの合計が最小となるノードの組み合わせを経路に設定する。

3.2. 三種の経路探索手法

本稿では、三種の経路探索手法を構築した。

通行方向を考慮しない経路探索手法(以下、既存探索モード)では、出発地から目的地までの最短経路を自転車の速度で算出する。

左側通行を遵守した経路探索手法(以下、左側通行探索モード)では、出発地から目的地まで左側通行となるように経路を算出する。

出発地、目的地付近での徒歩移動を考慮した左側通行モード(以下、左側通行+徒歩探索モード)では、ノード O_1 , O_2 , D_1 , D_2 を決定する。

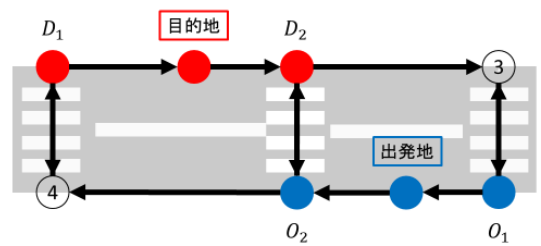
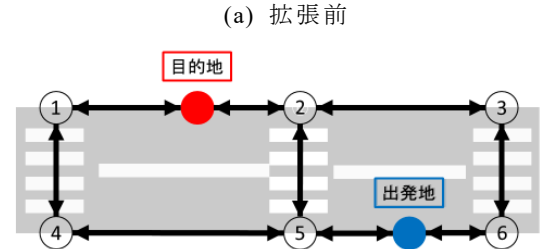


図2 ノードマップの拡張

その後、以下に示す経路パターンの中から旅行時間が最小となる経路を算出する。ただし、出発地・目的地に隣接する二つのノードに対して右側通行になるときは徒歩、左側通行になるときは自転車の速度で計算する。

経路パターン

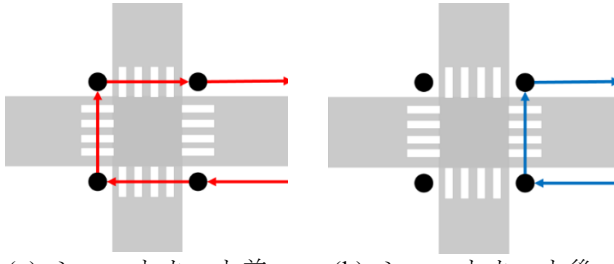
- ① 出発地 $\rightarrow O_1 \rightarrow D_1 \rightarrow$ 目的地
- ② 出発地 $\rightarrow O_1 \rightarrow D_2 \rightarrow$ 目的地
- ③ 出発地 $\rightarrow O_2 \rightarrow D_1 \rightarrow$ 目的地
- ④ 出発地 $\rightarrow O_2 \rightarrow D_2 \rightarrow$ 目的地

三種の経路探索手法の経路計算例を以下に示す。

経路計算例

- ・既存探索モード(図2(b)): 出発地 $\rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow$ 目的地
- ・左側通行探索モード(図2(c)): 出発地 $\rightarrow O_2 \rightarrow 4 \rightarrow D_1 \rightarrow$ 目的地
- ・左側通行+徒歩探索モード(図2(c)): 出発地 $\rightarrow O_2 \rightarrow D_2 \rightarrow$ 目的地

左側通行探索モードと左側通行+徒歩探索モードでは、一つの交差点のすべてのノードを通過する場合、最初の横断歩道を渡り、道路の反対側に移動する(図3)。なお、横断歩道内の移動は徒歩の速度で計算する。



(a) ショートカット前 (b) ショートカット後
図 3 交差点のショートカット例

3.3. 経路計算例

三種の経路探索手法を実行した例を図 4, 図 5 に示す。



(a) 既存探索モード (b) 左側通行探索モード



(c) 左側通行+徒歩探索モード

図 4 三種の経路探索手法の実行例①



(a) 既存探索モード



(b) 左側通行探索モード



(c) 左側通行+徒歩探索モード

図 5 三種の経路探索手法の実行例②

4. 評価実験

4.1. 旅行時間に関する評価

左側通行を遵守した場合、既存のシステムと比較してどのくらい旅行時間が増加するか把握することを目的として実験を行った。三種の経路探索手法に対してシミュレーションを行い、左側通行探索モード、左側通行+徒歩探索モードの旅行時間が既存探索モードと比較して何倍になるか求めた。なお、本稿では、自転車の速度を 15km/h、徒歩の速度を 4km/h とした。

さいたま市の図 6 に示す地域を対象とし、鉄道や主要な道路などによって 12 領域に分割した。また、本稿では片側 1 車線以上の道路に面するハローサイクリング[11]のポート 57 箇所を出発地・目的地に設定した。

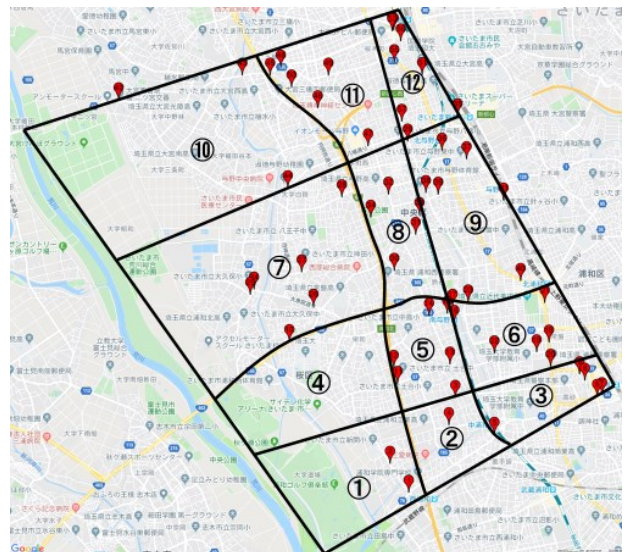


図 6 評価実験の対象とする地域

ここで、本稿では、以下の式に示すものを規格化旅行時間と定義する。

$$\text{規格化旅行時間} = \frac{\text{提案する2つの探索モードでの旅行時間}}{\text{既存探索モードでの旅行時間}}$$

${}_{12}C_2$ (領域0と領域Dの選び方)×(領域0に属する出発地の数)×(領域Dに属する目的地の数)×2(往路・復路)=2931通りの経路探索を行い、得られた規格化旅行時間の相対度数分布を図7、最大値・最小値・四分位数を図8に示す。また、規格化旅行時間が最大となった経路を図9、図10にそれぞれ示す。

図7に関して、左側通行探索モードでは96.9%、左側通行+徒歩探索モードでは98.3%が規格化旅行時間1.3までに収まった。規格化旅行時間の最大値は、左側通行探索モードでは2.87、左側通行+徒歩探索モードでは1.83であった。図9、図10に関して分析した結果、信号の少ないバイパスが経路に含まれるため、規格化旅行時間が大きくなっていることがわかった。

これらの結果から、左側通行を遵守しても時間の増加は少ないことがわかった。

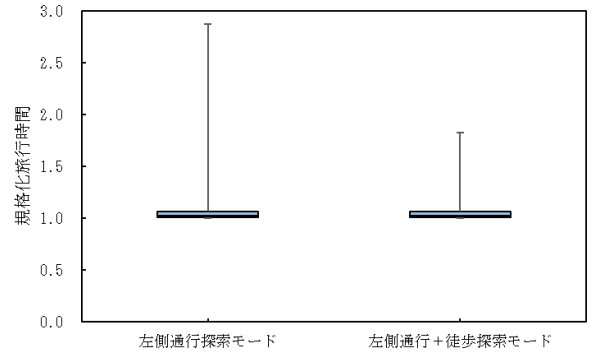
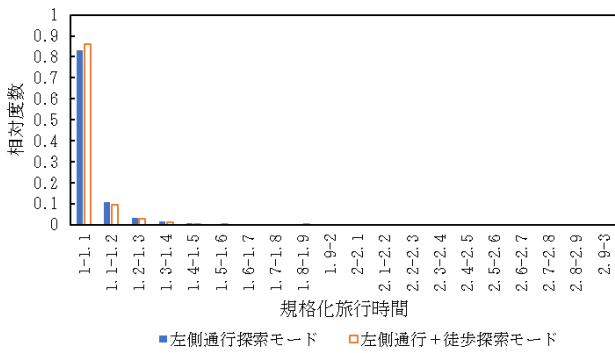
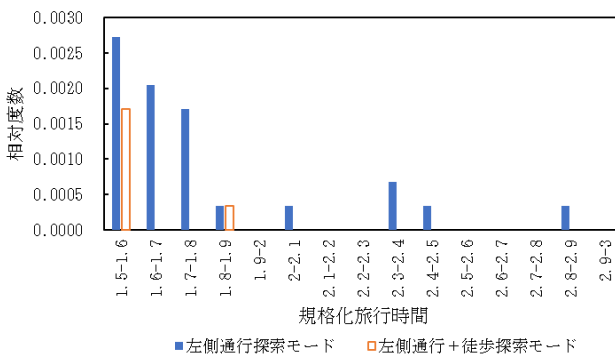


図8 規格化旅行時間の最大値・最小値・四分位数



(a) 全体



(b) 規格化旅行時間 1.5 以降のみ拡大
図7 規格化旅行時間の相対度数分布

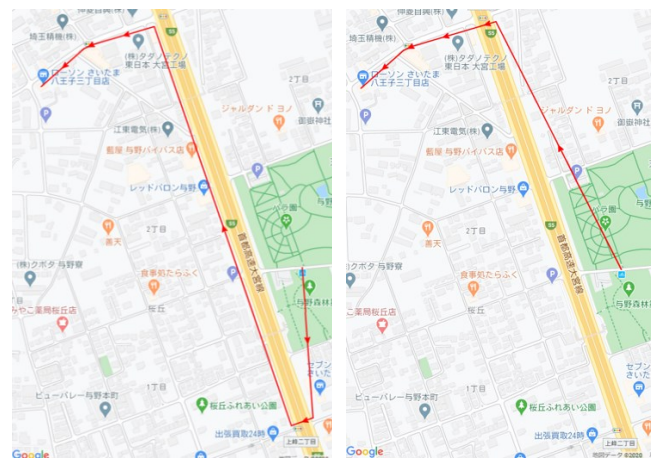


(a) 左側通行探索モード



(b) 既存探索モード

図9 左側通行探索モードでの規格化旅行時間が最大となる経路



(a) 左側通行+徒歩探索モード

(b) 既存探索モード

図10 左側通行+徒歩探索モードでの規格化旅行時間が最大となる経路

4.2. システムの受容可能性に関する評価

時間の増加をどのくらい許容できるか明らかにすることを目的として、10代～30代の男女37名に対してアンケート調査を行った。質問項目は以下の4つとした。

質問項目

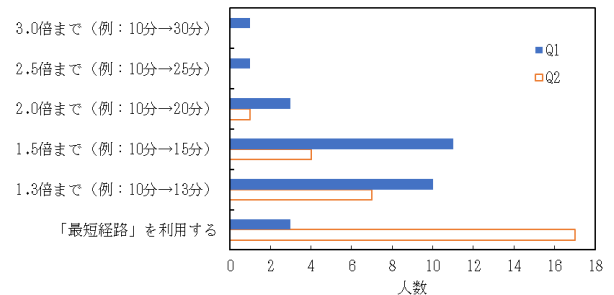
- Q1 時間に余裕があるとき、「左側通行遵守経路」でかかる時間が「最短経路」の何倍までなら許容できますか。
- Q2 急いでいるとき、「左側通行遵守経路」でかかる時間が「最短経路」の何倍までなら許容できますか。
- Q3 自転車から降りて、目的地や横断歩道まで徒歩で通行すれば交通ルールを守れるとき、何mまでなら歩いていいと思いますか。
- Q4 最寄りのポートで自転車を借りようとしたら全て貸し出し中だったとき、何m先(徒歩何分)のポートまでなら歩こうと思いますか。

得られた結果を図11に示す。Q1については、1.5倍までと回答した人が11名(全体の37.9%)、1.3倍までと回答した人が10名(全体の34.5%)であった。Q2については、最短経路を利用すると回答した人が17名(全体の58.6%)、1.3倍までと回答した人が7名(全体の24.1%)であった。Q3については、50mまでと回答した人が10名(全体の34.5%)、30mまでと回答した人が9名(全体の31.0%)であった。Q4については、別の交通手段を使う、200mまでと回答した人がどちらも8名(全体の27.6%)であった。これらの結果は、4.1の実験結果では左側通行探索モードで96.9%、左側通行+徒歩探索モードで98.3%が規格化旅行時間1.3までに収まったことを踏まえると、提案システムがユーザーに受け入れられる可能性があることを示唆している。

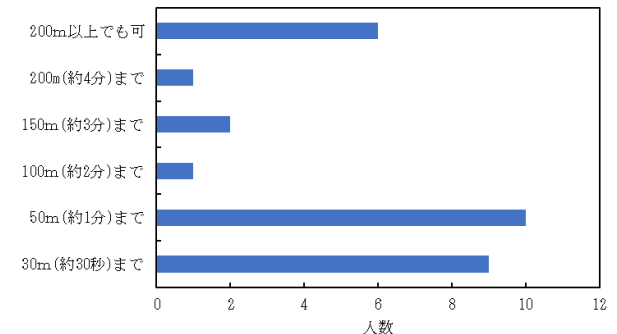
5. むすび

本稿では、左側通行を遵守した自転車用ナビゲーションシステムを提案した。自動車用のロードマップを拡張し、三種の経路探索手法を構築した。旅行時間とシステムの受容可能性に関する評価実験の結果から、本稿で提案したシステムに受容の可能性があることを確認した。

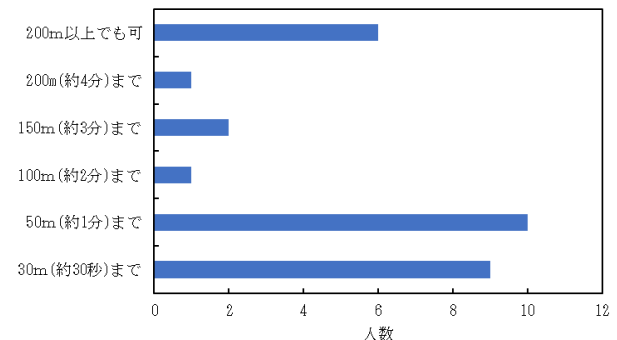
今後の課題として、徒歩移動が可能な距離を経路探索に反映すること、実験結果を踏まえた自転車の交通安全に関する指針作成や啓蒙活動等への活用などがあげられる。



(a) Q1, Q2 の結果



(b) Q3 の結果



(c) Q4 の結果

図11 アンケート結果

文献

- [1] 自転車産業振興協会, http://www.jbpi.or.jp/?sub_id=4&category_id=236&dir_no=TOP_ROOT (2020年2月5日アクセス)
- [2] 阿部竜士, “自転車運動の健康増進効果について,” 交通工学, vol.55, no.1, 2020.
- [3] 奥田舘夫, “日本におけるシェアサイクルの現状と展望,” 交通工学, vol.55, no.1, 2020.
- [4] 鈴木美緒, 岡田紫恵奈, 屋井鉄雄, “都市部の歩道を有する道路における自転車事故分析,” 土木学会論文集 D3, vol.69, no.5, pp. I_715-I_724, 2013.
- [5] 萩田賢司, 森健二, 横関俊也, 矢野伸裕, 牧下寛, “自転車の通行方法と事故の危険性について-歩道のある単路部での検討-, ” 土木学会論文集 D3, vol.72, no.5, pp. I_1095-I_1104, 2016.
- [6] 小金知史, 小川雅博, 荒木勲, 高橋治, 本田肇, 金子正洋, “市街地における自転車関連事故分析,” 第41回土木計画学研究発表会・講演集, 2010.

- [7] 株式会社ナビタイムジャパン “自転車ナビタイム,” <https://www.navitime.co.jp/bicycle/> (2020年2月5日アクセス)
- [8] ガーミンジャパン株式会社 “edge,” <http://www.garmin.co.jp/minisite/edge/> (2020年2月5日アクセス)
- [9] 庄子隼人, 間邊哲也, 長谷川孝明, “SV用ナビゲーションシステムにおけるリンク重み計算について,” 信学技報, ITS2017-1, pp.1-6, 2017.
- [10] E.D. Dijkstra, “A note on two problems in connection with graphs,” *Numerische Mathematik*, vol.1, no.1, pp.269-271, Dec. 1959.
- [11] OpenStreet 株式会社 “HELLO CYCLING,” <https://www.hellocycling.jp/> (2020年2月5日アクセス)