

東京都における自転車走行環境の評価と最適経路の探索

茗荷魁斗・高松瑞代

Evaluation of Tokyo Road Network and Optimal Route Search for Bicycles

Kaito MYOGA and Mizuyo TAKAMATSU

Abstract: Bicyclists tend to avoid steep slopes and crowded streets, even if it causes longer travel distance. In this study, we evaluate the road network in Tokyo from the viewpoint of bicyclists. The evaluation is based on the road gradient, the type of road, the distance from railway stations, and the scale of stations. Moreover, we analyze the location of bicycle lanes which are planned to be built for the 2020 Tokyo Olympic.

Keywords: 自転車 (bicycle), 標高データ (elevation data), 道路ネットワーク (road network), 最適経路 (optimal route)

1. はじめに

近年、携帯電話やパソコン向けの経路探索サービスが広く利用されており、自動車や鉄道、徒歩等の交通手段に適した経路を求めることができる。多くの経路探索サービスがある中で、自転車の経路探索サービスは日本ではまだ発展途上であると考えられる。2016年8月の時点で、Google Mapの自転車経路探索は日本では利用できない。NAVITIMEの自転車経路探索では、距離が短い、坂道が少ない、大通り優先などの5種類の経路から利用者が自分で選択する必要がある。

自転車にとっては、最短距離より多少遠回りになったとしても、走りやすい経路であることが重要である。しかし、この「走りやすさ」を定量的に評価することが難しい。アメリカにおける自転車道の定量的評価の指標として、BCI (Bicycle Compatibility Index) が知られている。BCIは道路や自転車道の幅員、交通量、沿道の土地利用状況

などに基づいて、AからFの6段階で自転車道を評価する。BCIは日本でも着目されており、岐阜市におけるケーススタディにも利用されている(兵藤2000, 轟ら2005)。

日本とアメリカの道路の大きな違いは、坂道の量と道幅の狭さである。日本の自転車走行環境の評価には、道路勾配の情報を欠かすことはできない。また、東京都内という建物が密集した地域を通行する際には、出発地から目的地までの経路全体を考慮したうえで、道幅が狭い道路を通るべきか遠回りすべきかを見極める必要がある。

本研究では、東京都を対象として自転車走行環境の評価を行う。この評価に基づいて複数の出発地と目的地の組に対する最適経路を計算することで各道路の使用頻度を算出し、2020年の東京オリンピックに向けて整備が進む自転車レーンの設置場所を考察する。

2. 道路に対する特徴付け

2.1 道路勾配に基づくリンクの分類

デジタル道路地図データ[3]から道路ネットワークを構築する。構築したネットワークのノード

茗荷魁斗 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

中央大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

Phone: 03-3817-1690

E-mail: a12.6wcj@g.chuo-u.ac.jp

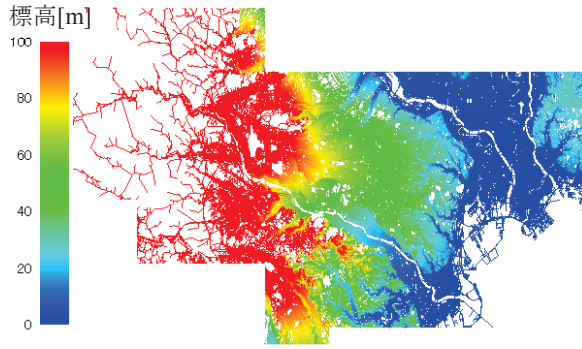


図1 標高を割り当てた東京都の道路ネットワーク

数は755,402, リンク数は2,013,060である. 次に基盤地図情報ダウンロードデータ[4]を用いて, ネットワークの各ノードに標高を割り当てる. 構築した東京都の道路ネットワークを図1に示す.

道路ネットワークの各リンクに対して, リンク長 l と端点の標高差 h から, $\theta = \tan^{-1}(h/\sqrt{l^2 - h^2})$ により勾配 θ [度]を計算する.

2.2 駅からの距離に基づくノードの分類

歩行者や路上駐車は駅に近いほど多く, 自転車走行の妨げとなっている. ここでは, 駅周辺の繁栄が駅の乗降客数に比例すると仮定し, 駅別乗降客数データ[5]を用いて道路ネットワークのノードを中心部, 市街地, その他の3種類に分類する.

駅の乗降客数を P とする. 各ノードについてもっとも近い駅との距離 L を計算し, $L \leq 4\sqrt{P/20}$ を満たすとき中心部, 中心部でなく $L \leq 19\sqrt{P/10}$ を満たすとき市街地, それ以外をその他の地域と呼ぶ. ただし, 乗降客数が30,000 (人/日)未満の駅は規模の小さい駅とみなし, 中心部が存在しないものとする. 分類した結果を図2に示す.

中心部の細街路は人の交通量と路上駐車が多いため, 自転車の経路探索では回避したい道路である. 市街地は住宅街を主とした地域であるため, 十分な幅が保証されている国道, 都道などの幹線道路の他に, 交通に便利な細街路が存在する. その他の地域では道路の数が少ないため, 経路選択の選択肢も少ないと考えられる.

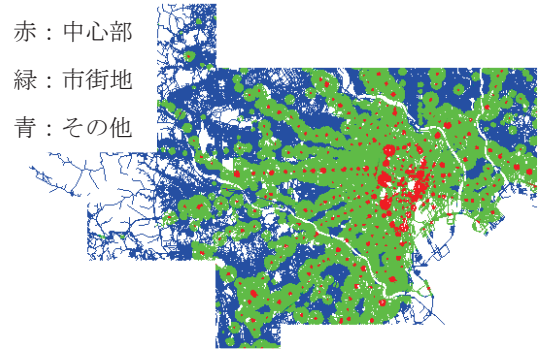


図2 駅からの距離に基づくノードの分類

3. 自転車の最適経路探索

3.1 リンクのコスト

本研究では Dijkstra 法を用いて自転車の経路を探索する. 自転車の走行では, 路面との摩擦により生じる転がり抵抗 R_r , 空気抵抗 R_a , 勾配による抵抗 R_c , 加速による抵抗 R_s の4種類の抵抗が働く[6]. これらの総和 $R = R_r + R_a + R_c + R_s$ を全走行抵抗と呼ぶ. ここでは無風かつ一定速度で走行すると仮定し, $R_a = 2.755[\text{N}]$, $R_s = 0[\text{N}]$ とする. 質量を m , 重力加速度を g , 転がり抵抗係数を μ_r , 勾配を θ として $R_r = \mu_r mg \cos \theta$, $R_c = mg \sin \theta$ と定める. このとき, 各リンクの仕事量 W は

$$W = R \times \text{リンク長} \times \frac{1}{\text{人間のエネルギー変換効率}}$$

により計算できる.

次に, 道路を以下の4つに分類する.

- ① 幹線道路 ② 都道府県道, 市道
- ③ 車線数2以上の道路 ④ 細街路

この分類と2.2節で述べた地域の分類に基づき, 表1のように重み付けを行う. 表1の重みが10/13以下の道路 (オレンジ色) を自転車が優先して走行すべき道路, それ以外 (青色) を避けるべき道路とする. リンクのコストは, 仕事量 W に表1の値をかけた値として定める.

表1 地域と道路の分類に基づく重み

	①	②	③	④
中心部	2/3	5/6	10/11	1
市街地	2/3	5/7	10/13	10/11
その他	2/3	2/3	5/7	5/6

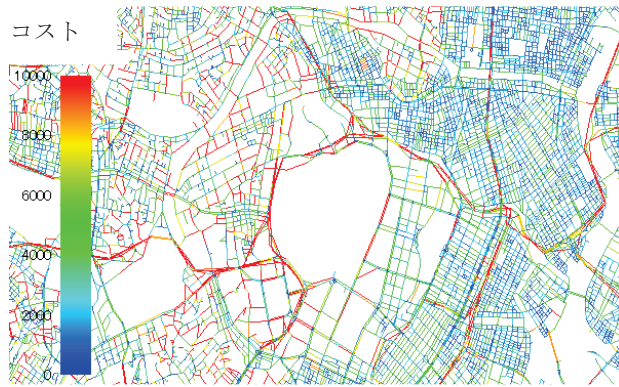


図3 皇居周辺のリンクのコスト

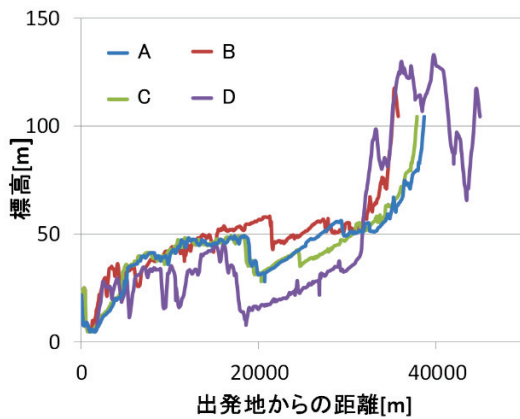


図4 4つの経路の高低差グラフ

3.2 走行環境の評価と最適経路の探索

3.1節で述べたリンクのコストを可視化した結果を図3に示す。コストが小さいほど自転車が走りやすい道路となる。以下では、始点を後樂園駅周辺、終点を中央大学・明星大学駅周辺として経路探索を行った結果を考察する。

次の4種類の経路を比較する。

- (A) コスト最小 (B) 最短距離 (C) 仕事量最小
(D) 表1で定めた重みが最小

各経路の高低差グラフを図4に、経路の詳細を表2に示す。コスト最小の経路は最短距離から4kmほど長くなるが、仕事量が少なく、優先すべき道路を多く通る経路となっている。

表2 4つの経路の比較

	距離[m]	仕事量[J]	優先すべき道路[m]
A	39,945	1,290,753	33,418
B	35,688	1,401,453	29,865
C	38,397	1,240,090	31,149
D	40,641	1,474,871	34,349



図5 対象地域の一部



図6 リンクの通行回数

4. 自転車レーンに関する考察

4.1 自転車レーンの評価

3節で述べた評価を用いて、2020年の東京オリンピックに向けて整備を進められている自転車レーンの設置場所(図5の赤線)を評価する[7]. 対象地域は新国立競技場周辺とする。

オリンピック終了後に自転車レーンがどのように使用されるかを評価するために、430点のノードを選び、始点・終点の組に対して経路探索を行う。選ばれたノードの一部を図5の白点で表す。

経路探索で各リンクが使用される回数を図6に示す。色が橙に近いほど回数が多いことを表す。図5と図6を比較すると、駅周辺の細街路であるため通行回数が少ない自転車レーンが存在する。また、自転車レーンでないにもかかわらず、よく利用される道路を見つけることができる。

4.2 通行回数に基づく自転車レーンの最適配置

対象地域には、2020年の東京オリンピックの会場である新国立競技場、国立代々木競技場、ライブサイトがある。これらの地点に対応するノードを n_1, n_2, n_3 とする。これら3点を目的地とし、4.1

節で述べた 430 点を出発地として経路探索を行い、リンク (u, v) が使用される回数 c_{uv} を計算する。

本研究では、ノード n_i に連結なリンク (u, v) に対して、 c_{uv} の総和が大きいものを自転車レーンとして設置することを考える。ただし、自転車レーンは閉路を含まないとする。この問題は次のように書くことができる。

$$\max. \sum_{(u,v) \in T_1 \cup T_2 \cup T_3} c_{uv}$$

sub.to T_i は n_i を含む木 ($i = 1, 2, 3$)

$T_1 \cup T_2 \cup T_3$ のリンク長の総和 $\leq$ 上限

以下の整数計画問題を解く。 x_{uv} はリンク (u, v) が自転車レーンならば 1 となる 0-1 変数、 y_{uv} は u から v へ流れるフローの量を表す非負変数である。

$$\max. \sum_{(u,v): \text{リンク}} c_{uv} x_{uv}$$

sub.to $x_{uv} + x_{vu} \leq 1$ ((u, v) : リンク)

$\sum_{v \in N(u)} x_{vu} \leq 1$ (u : ノード)

$\sum_{v \in N(u)} x_{uv} - M \sum_{v \in N(u)} x_{vu} \leq 0$ (u : ノード)

$y_{uv} \leq x_{uv}, M y_{uv} \geq x_{uv}$ ((u, v) : リンク)

ノード n_i に関する制約 ($i = 1, 2, 3$)

リンク長の総和の上限制約

ただし、 y_{uv} は n_i から一定量流れ込み、各ノードから流れ出ることができるフローである。 M は十分大きな定数、 $N(u)$ は u に隣接するノードの集合を表す。この整数計画問題を解くと、通行回数の合計を最大化するノード n_i を含む木 T_i ($i = 1, 2, 3$) と閉路が求まる。得られた閉路は長さが小さいため削除すると、木 T_1, T_2, T_3 は図 7 のようになる。

図 7 の自転車レーンの目的関数値（通行回数の合計）は 18, 111 となり、図 5 の自転車レーンの目的関数値 8, 814 よりも大幅に改善することができた。図 5 と図 7 を比較すると、図 7 の自転車レーンの方が図 6 において色が明るいリンク（通行回数が多い道路）を多く含むことがわかる。

5. 結論

本研究では、東京都の自転車走行環境を評価し、

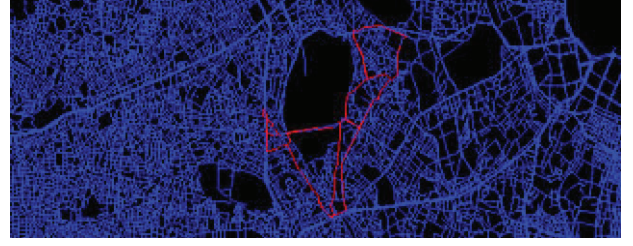


図 7 提案する自転車レーン設置場所

この評価に基づき最適経路の探索と自転車レーン設置場所の分析を行った。2020 年の東京オリンピックに向けて整備を進められている新国立競技場周辺に対して、長期的な利用が見込める自転車レーン設置場所を求めることができた。

参考文献

- [1] 兵藤哲朗：自転車道の定量的評価手法について—アメリカの取り組みを中心に—，都市と交通，50 巻，pp. 42-45，2000.
- [2] 轟修，松村暢彦，田口博司：自転車道評価指標 BCI の我が国の地方都市への適用とその考察，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp. 579-580，2005.
- [3] 住友電気工業株式会社，住友電工製品 拡張全国デジタル道路地図データベース標準（全国 1:25000 地図データ）Version 3.31.
- [4] 国土交通省国土地理院：基盤地図情報ダウンロードデータ 第 4.0 版（オンライン），入手先<<http://fgd.gsi.go.jp/download/>>（参照 2016 年 1 月 26 日）。
- [5] 国土交通省国土政策局：国土数値情報（駅別乗降客数）第 1.1 版（オンライン），入手先<<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-S12.html>>（参照 2016 年 1 月 26 日）。
- [6] 茄子川捷久，汐川満則，宮下義孝：自動車の走行性能と試験法，東京電機大学出版局，2008.
- [7] 東京都公式ホームページ：自転車推奨ルート図（新国立競技場周辺地区）（オンライン），入手先<<http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2015/04/DATA/20p4h303.pdf>>（参照 2016 年 8 月 19 日）。