

自転車ツーリングコースの最適化

2017SS079 田中駿佑

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

サイクリングは自転車を持っていれば誰でも気軽に行うことのできるスポーツである。ジョギングと比べ足への負担があまりかからず景色を楽しみながら走るにより飽きることなく走り続けることができ、軽い運動で遠くまで行くことができる。サイクリングの楽しみ方の1つにツーリングというものがある。ツーリングとはコースや目的地を決め、それに沿って長距離を走ることである。ツーリングを行うにあたりコース設計が重要となる。コース設計の際に、体力などを考慮して適切に行わないとつらい思い出しが残らないツーリングとなりかねない。

本研究では、目的にあった満足度の高いツーリングコースを設計するための数理モデルを提案する。

2 問題の説明

ツーリングコースの設計では走行する道の選択が大切である。コースは、単に走行するだけでなく、途中で観光地などに立ち寄ることも楽しみの1つである。また、単に道を選択するだけでなく、途中で立ち寄る観光地などを選択することも重要である。そこで、訪問地の満足度を所与することで満足度総和の最大化を目的としたコース設計を行う。道の選択では、自転車に乗りなれているかを考慮して選択する必要がある。理由は、無茶な走行は怪我や事故を引き起こすからである。そこで、各道路の難易度を考慮し、走行距離および難易度の上限を決めることにより適切なコース設計を行う。ツーリングの目的には、さまざまな観光地や風景を楽しむことも含むので、同じ場所を複数回訪問するようなコース設計は行わない。

以上のことを踏まえ十分な満足度を得られるツーリングコースの最適化を実現する。

3 問題の定式化

3.1 巡回セールスマン問題との関連

ツーリングコースの最適化問題は、出発地 s と目的地 t を所与とし、 s から t への経路を求める問題である。目的は、 s から t への経路上のノードに付与された満足度の合計を最大化することである。そのため、最短経路問題とは異なり、流量保存則のみでは部分巡回路が発生する。そこで、 s と t を結ぶ長さ 0 のダミー枝を追加し、ダミー枝を含む s から s への巡回路を求めることによって、満足度の総和が最大となる s から t への経路を求める。

3.2 記号の定義と定式化

自転車ツーリングコースの最適化問題を定式化するために、以下の記号を定義する。

V : ノード (訪問地) の集合
 F : 目的地を除いたノードの集合, $F = V \setminus \{t\}$
 G : 出発地を除いたノードの集合, $G = V \setminus \{s\}$
 H : 出発地と目的地を除いたノードの集合, $H = V \setminus \{s, t\}$
 E : 枝の集合
 s : 出発地
 t : 目的地
 n : 集合 H の要素数
 w_i : ノード $i \in V$ を訪問した時の満足度
 d_{ij} : 枝 $(i, j) \in E$ の長さ ($d_{ij} = d_{ji}$)
 c_{ij} : 枝 $(i, j) \in E$ の難易度 ($c_{ij} \neq c_{ji}$)
 M : 難易度総和の上限
 L : 走行距離の上限
 u_i : 点ポテンシャル, $i \in H$

次に、以下の変数を定義する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{枝 } (i, j) \in E \text{ をコースに入れる.} \\ 0: \text{枝 } (i, j) \in E \text{ をコースに入れない.} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1: \text{ノード } i \in V \text{ を訪問する.} \\ 0: \text{ノード } i \in V \text{ を訪問しない.} \end{cases}$$

これらを用いて定式化すると以下の通りになる。

$$\max \sum_{i \in V} w_i y_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in G} x_{sj} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in F} x_{it} = 1 \quad (3)$$

$$x_{ts} = 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \leq 1, \quad i \in V, j \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in F} x_{ij} \geq y_j, \quad j \in G \quad (6)$$

$$\sum_{i \in F} x_{ij} = \sum_{i \in G} x_{ji}, \quad j \in H \quad (7)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad i \in H, j \in H \quad (8)$$

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in G} d_{ij} x_{ij} \leq L \quad (9)$$

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in G} c_{ij} x_{ij} \leq M \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (i, j) \in E \quad (11)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i \in V \quad (12)$$

(1) は出発地から目的地までの満足度の総和であり、これ

を最大にすることを目的とする。(2) は出発地から訪問地の1つに移動する制約である。(3) は目的地に訪問地の1つから移動する制約である。(4) は目的地から出発地をつなぐダミー枝を必ず使用することを示す制約である。(5) は枝 $(i, j) \in E$ か枝 $(j, i) \in E$ の一方しか選択できないことを表す制約である。(6) は枝 $(i, j) \in E$ を選択するときは、ノード $j \in V$ を訪問することを表す制約である。(7) は流量保存則 (入る枝と出ていく枝の数は同じ) である。(8) は部分巡回路排除制約である。(9) は走行距離は L 以下とする制約である。(10) は難易度の総和は M 以下とする制約である。(11)(12) は変数のバイナリ制約である。

4 計算実験

4.1 データについて

計算実験を行うにあたり、2018年の南山大学サイクリングクラブで実施したツーリング行事でのレクリエーションで使用したものをを用いた。レクリエーションの内容はいくつかのスポットに点数を設定し、その場所で写真を撮り最終的にポイントを多く獲得したチームの勝利というものである。写真撮影のスポットを図1に示す。この合宿での出発地は南山大学(図1の0)、目的地は小牧勤労センター(図1の22)となっており、これらの点数はともに0とする。この実験を行う際に、走行距離上限が同じで難易度上限が違う場合、難易度上限が同じで走行距離上限が違う場合、でポイントの合計がどうなるのかを調べる。

4.2 難易度の設定

各枝の難易度は、高低差、道幅、交通量から設定する。これらを調べるために Google Map [1] を用いる。高低差は道を調べた際の累積標高の上りから下りを引いた値で決める。30以下は0, 30以上100以下は1, 100以上は2とする。道幅は2車線以上の道は0, 1車線の道は1, 車線なしの狭い道は2とする。ただし、車線のない道でも周りに建物が少なく車通りが極めて少ない道は0とする。交通量はビル街や有料道路の近くでは2, 住宅街などの街中では1, 建物の少ない道では0とする。これらの合計値を難易度とする。

5 実行結果

走行距離上限を50で固定し、難易度上限を10, 20, 30, で実行すると表1のような結果となった。また、難易度上限を20で固定し、走行距離上限を40, 50, 60, で実行すると表2のような結果となった。この結果から各上限以内で満足度が最大となるコースの設計を行うことができた。また、走行距離上限が50, 難易度上限が20, 30, のとき、図1と表1より、違うコースで合計ポイントが同じになることから、難易度上限 = 30 で設計したコースでも難易度上限 = 20 のようなコース設計にすることにより初級者でも上級者と同じポイントが得られるコースを設計することが可能であることがわかった。

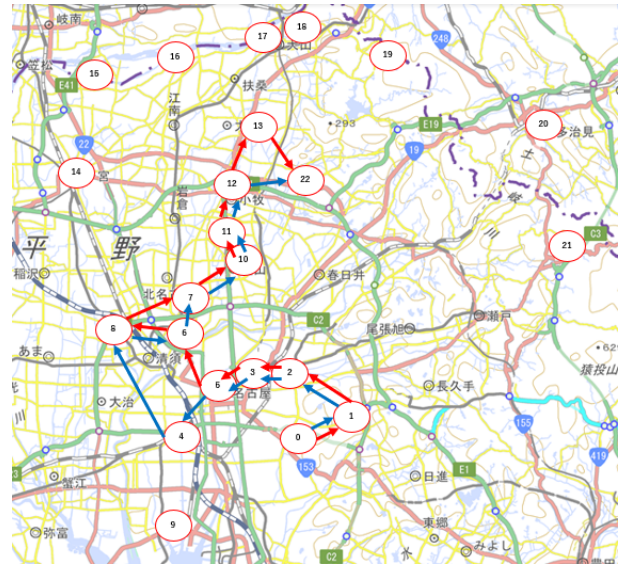


図1 難易度上限が、赤=20, 青=30, のとき

表1 走行距離上限 = 50 のとき

難易度上限	10	20	30
走行距離 (km)	46.9	49	45.8
難易度	10	19	22
合計ポイント	1000	1250	1250

表2 難易度上限 = 20 のとき

難易度上限	40	50	60
走行距離 (km)	36.8	49	59.8
難易度	15	19	16
合計ポイント	950	1250	1850

6 おわりに

今後の課題として、難易度を設定する際に累積勾配も考慮することが考えられる。また、走行時間、走行時間上限、を加えることにより時間内での最適ルートの作成へと問題を拡張することができる。更に、今回の研究では1日でコースを走ることを想定して考えているが複数日走るコースの問題に拡張することも課題に挙げられる。

参考文献

- [1] Google maps. <https://www.google.co.jp/maps>. 2020年12月19日閲覧。
- [2] ながの市 ながの観光 net. <https://www.nagano-cvb.or.jp/modules/feature/cyclingmodelcourse>. 2020年9月16日閲覧。