

テーマパークにおけるトイレの最適配置問題

2016SS036 日下 亜佳音

指導教員：佐々木 美裕

1 はじめに

テーマパークはレジャー施設の中でも人気スポットである。その代表的な東京ディズニーリゾートの2018年度年間入場者数は3200万人であり[2]、長蛇の列ができるトイレも少なくない。その原因として、人通りの多い所には十分な数の個室がないが、来園者があまり利用しない所に大規模なトイレがあるという問題がある。

そこで、本研究では、一般的な来園者の行動を考えて、トイレの最適配置とトイレの個室の数を最適化する問題を考える。

2 問題の説明

問題を2段階に分けて解く。第1段階ではトイレの最適配置を、第2段階ではトイレの個室の総数を所与として各トイレの個室の数を求める。

来園者は、入口から入園し、アトラクション間を移動する。トイレには移動中に立ち寄ることが多いと考えられるので、フロー捕捉問題[1]として考える。フロー捕捉問題とは、移動途中にある施設に立ち寄る行動を想定した施設配置モデルであり、経路上のどの施設でもフローを捕捉しても良いと仮定している。さらに、来園者がトイレに行きたいと思った際、最初に見つけたトイレに行くことが多いと考え、起点に近いところでフローを捕捉することに着目した田中のモデル[6]を参考にし、トイレの最適配置問題を定式化する。このとき、来園者はアトラクション間を最短経路で移動すると仮定する。トイレの候補地は、アトラクションや入口、既存トイレが挙げられる。

第2段階は、第1段階で求めた最適解を用いて各トイレに捕捉されるフローを求め、この値を元にあらかじめ決めておいたトイレの個室の総数を比例配分することによって、個室の数を求める。

3 トイレの最適配置問題

3.1 準備

トイレの最適配置問題を定式化するためには、全点对間の最短経路と各アトラクション間の移動人数が必要である。よって、全点对間の最短経路を求めるためにワーシャル・フロイド法[5]を、各アトラクション間の移動人数を推測するために重力モデル[4]を用いる。

3.2 定式化

トイレの最適配置問題を定式化する際に用いる記号を以下に示す。

A : アトラクションと入口の集合。

T : 既存のトイレの集合。

K : トイレの配置候補の集合。

K_{ij} : アトラクション $i-j$ ($i \in A, j \in A$) 間の最短経路上に含まれるトイレの配置候補の集合 ($K_{ij} \subseteq K$)。

p : 配置するトイレの数。

q_{ij} : アトラクション $i \in A$ から $j \in A$ へのフロー量。

a_{ijk} : アトラクション $i-j$ ($i \in A, j \in A$) 間の最短経路上にある $k \in K_{ij}$ から $j \in A$ までの長さ。 $k = j$ ($k \in K_{ij}, j \in A$) のときの $k-j$ 間の長さは1とする。

ここで、 a_{ijk} は、値が大きいほど起点の近くにトイレがあることを意味するため、トイレの利用のし易さと解釈できる。終点でも捕捉できると考えるのが自然なので、 $k = j$ のとき $a_{ijk} = 1$ とする。

変数を以下のように導入する。

$$x_k = \begin{cases} 1 : \text{頂点 } k \in K \text{ にトイレを配置する。} \\ 0 : \text{上記以外。} \end{cases}$$
$$y_{ijk} = \begin{cases} 1 : \text{アトラクション } i-j \text{ (} i \in A, j \in A \text{) 間の} \\ \text{フローが、トイレ } k \in K_{ij} \text{ で捕捉される。} \\ 0 : \text{上記以外。} \end{cases}$$

以上の記号を用いると、トイレの最適配置問題は次のように定式化できる。

$$\max. \quad \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} q_{ij} \sum_{k \in K_{ij}} a_{ijk} y_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} x_k = p \quad (2)$$

$$y_{ijk} \leq x_k, \quad i \in A, j \in A, k \in K_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_{ij}} y_{ijk} \leq 1, \quad i \in A, j \in A \quad (4)$$

$$x_k \in \{0, 1\}, \quad k \in K \quad (5)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i \in A, j \in A, k \in K_{ij} \quad (6)$$

(1) は、アトラクション間の全ての捕捉フローに対する a_{ijk} の合計値を表す。(2) は、 p 個のトイレを配置することを表す。(3) は、 $i-j$ ($i \in A, j \in A$) 間のフローは $k \in K_{ij}$ にトイレが配置された場合にのみ、そのトイレでの捕捉が可能であることを表す。(4) は、各フローを捕捉するトイレは高々1か所であることを表す。この式と目的関数の最大化から、経路上にトイレがある場合には、起点のアトラクションから最も近いトイレに割り当てられることになる。(5) と (6) は、変数の0-1制約である。

4 トイレの個室の数の最適化

トイレの最適配置問題の最適解を, x^* と y^* とすると, $W_k = \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} q_{ij} y_{ijk}^* (k \in K)$ は, トイレ $k \in K_{ij}$ が捕捉するフローを表す. W_k の値を元に, あらかじめ決めておいたトイレの個室の総数を比例配分することによって, 個室の数を求める.

5 計算実験

5.1 データの作成

Gurobi Optimizer 8.1.1 を用いて計算実験を行った. 計算環境は (プロセッサ: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU@3.40GHz 3.41GHz, 実装メモリ: 16GB) である. 東京ディズニーランドのデータを用いる. 図 1 は, 東京ディズニーランドのネットワークであり, 四角はアトラクションと入口 (23 個), 丸は既存のトイレ (14 個), 中の数字はノード番号, 枝は太いほどフロー量が多いことを表している. Python の NetworkX パッケージで提供されているワーシャル・フロイド法のモジュールを用いて全点対間の最短経路を求めた. 重力モデルを計算する際に必要となるアトラクションの規模は, アトラクションの定員と所要時間, 乗降時間 [3] から計算し, 入口の規模は入園ゲートの処理能力にゲート数を掛け, それぞれ 30 分間に出ていく人数とした. また, 既存の個室の総数が 260 であるので, 各トイレの個室の数は第 2 段階で求めた値を元に 260 を比例配分する.

5.2 計算結果

トイレの配置の候補地を既存のトイレとしたときの計算結果と, 既存のトイレを比較する. 表 1 より, 4 番と 6 番は配置しなくてもよいという結果となった. 4 番はアトラクション間の最短経路上にないため, 6 番は 5 番・9 番が同じ経路上にあり, この 2 つのトイレにフローが捕捉されるため, トイレが配置されない結果となった. 10 番の個室の数が現実的に多すぎることより, 周辺のトイレが不足していることがわかる. 一方, 14 番が既存のトイレと比べ極端に少ないのは, 1 番の近くにあるアトラクションの規模がとても大きいからだと考えられ, 12 番・13 番のトイレが少ないのは, フロー量が少ないからだと考えられる.

次に, トイレの配置候補の集合を全てのノードとしたと

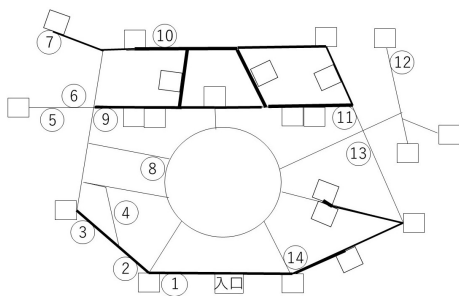


図 1 トイレのノード番号

表 1 計算結果と既存のトイレの個室数の比較

ノード番号	1	2	3	4	5	6	7
現状	20	12	7	6	13	5	22
計算結果	37	10	11	0	8	0	16
ノード番号	8	9	10	11	12	13	14
現状	14	23	22	27	17	24	41
計算結果	22	29	88	28	3	5	4

表 2 捕捉されるフローの割合

p	フローの割合 (%)	p	フローの割合 (%)	p	フローの割合 (%)
1	30.2	8	93.0	15	99.2
2	41.0	9	96.0	16	99.2
3	52.0	10	97.0	17	99.3
4	67.1	11	97.7	18	99.3
5	77.2	12	97.7	19	99.9
6	83.5	13	98.0	20	99.9
7	84.4	14	99.0	21	100

きに捕捉されるフローの割合を表 2 に示す. 全てのフローを捕捉するためには, トイレを 21 個配置する必要があることがわかった.

6 おわりに

全体的にフロー量が多いところほど大規模のトイレが配置されていることから, 計算結果として適切であることが確認できた. 問題の改善点として, トイレの個室の数の最小数や最大数を制限することで, より現実的な問題にすることが挙げられる.

参考文献

- [1] M. Hodgson. A flow-capturing location-allocation model. *Geographical Analysis*, Vol. 22, pp. 270–279, 1990.
- [2] olc group. 入園者数データ. <http://www.olc.co.jp/ja/tdr/guest.html>. 2019 年 7 月 15 日閲覧.
- [3] TokyoDisneyResort. アトラクション. <https://www.tokyodisneyresort.jp/tdl/attraction.html>. 2020 年 1 月 5 日閲覧.
- [4] 栗田治. 都市と地域の数理モデル—都市解析における数学的方法—. 共立出版株式会社, 2013.
- [5] 大山達雄. パワーアップ離散数学. 共立出版株式会社, 1997.
- [6] 田中健一. 平日と休日の施設へのアクセス方法の違いを考慮した鉄道網上の施設配置モデル—フロー需要の最大化と施設までのアクセシビリティ最大化—. 都市計画論文集, pp. 1533–1540, 2019.