

# 滞在可能時間を考慮した旅行計画問題

2015SS030 加藤優依

指導教員：福嶋雅夫

## 1 はじめに

ここ数年、日本を訪れる外国人観光客の数は急増している。日本政府観光局 (JNTO) のデータによると、1年間に日本を訪れた訪日外国人の数は年々増加しており、2017年では統計開始以来の最高記録である約 2869 万人にまで達した [1]。国連世界観光機関 (UNWTO) の統計データによると、日本は 6 年連続で国際観光客到着数の伸び率において 2 桁の成長を見せており、2020 年までに日本の国際観光客到着数を 4000 万人までに引き上げるという日本政府の目標は、このペースで増加すれば達成できそうな勢いにある [2]。観光客数の増加には様々な要因が考えられるが、世界の海外旅行客数が増加しているのは大いに影響があるだろう [2]。こうした流れの中で、日本を旅行先として選んでもらうためには、新たな訪日外国人の人数を増やすための工夫も必要になるが、高い満足度による訪日外国人観光客のリピーターを増やす工夫が必要になると考える。そのための工夫の 1 つとして、各旅行客の興味に応じた旅行プランを提供することがリピーター増加につながると考えることができる。

本研究では、ある都市の観光地や食事処に対して、観光客の要望に応じた満足度の度合いを設定し、滞在可能時間内での満足度が最大となるような巡回路の構成法について考察する。関連する研究としては、倉田による「対話的旅行計画作成支援システムの実装と評価」[3] や「ユーザー適応型旅行計画システムの課題 (邦訳)」[4] が挙げられる。

## 2 研究の内容

本研究では、観光客の満足度が最大となる巡回路を構成する問題を考える。その際、以下のことに考慮して定式化を行う。

- 観光地と食事処：観光地と食事処の候補地は、すべてを訪問する必要はない。
- 時間の制限：滞在時間内で、観光客は候補地の滞在時間と移動時間を考慮して巡回する。ただし、移動時間は距離に基づいて定める。
- 食事のタイミング：お昼時に合わせて食事処を訪問するタイミングを調節する。

## 3 目的関数

滞在日数を  $K$  日間としたときの各観光地、食事処を利用したことで得られる  $k$  日目の満足度の合計を最大化する問題について考える。以下では、観光地、食事処を節点として扱い、出着地を特別な節点として節点 0 とする。また、観光地の集合を  $V_1 = \{1, 2, \dots, n\}$ 、 $k$  日目の観光地の集合を  $V_1^k \subseteq V_1$ 、食事処の集合を  $V_2 = \{n+1, n+2, \dots, n+m\}$ 、 $k$  日目の食事処の集合を  $V_2^k \subseteq V_2$  とし、 $k$  日目の節点の集合を  $V^k = \{0\} \cup V_1^k \cup V_2^k$  とする。

これらのことをふまえ、節点  $i \in V^k$  の満足度を  $a_i$ 、節点  $i \in V^k$  を訪問するかどうかを表す 0-1 変数を  $y_i$  としたとき、満足度最大化問題の目的関数は次のように表される。

$$\sum_{i \in V^k} a_i y_i \quad (1)$$

## 4 制約条件

制約条件として、時間内に巡回することを表す時間の制約式と巡回路を表す制約式について考える。

### 4.1 時間制約

旅行中の  $k$  日目を考え、旅行先で滞在が可能な時間を  $T^k$ 、節点  $i \in V^k$  の滞在時間を  $t_i$ 、枝の集合を  $E^k$ 、枝  $(i, j) \in E^k$  の移動時間を  $d_{ij}$  とし、枝  $(i, j) \in E^k$  を移動するかどうかを 0-1 変数  $x_{ij}$  で表す。

訪問した節点の滞在時間の合計は  $\sum_{i \in V^k} t_i y_i$ 、訪問した節点を巡回する際の移動時間の合計は  $\sum_{(i,j) \in E^k} d_{ij} x_{ij}$  であるから、以下の制約式を得る。

$$\sum_{i \in V^k} t_i y_i + \sum_{(i,j) \in E^k} d_{ij} x_{ij} \leq T^k \quad (2)$$

### 4.2 巡回路制約

巡回路に関する制約条件として以下の条件を考慮する必要がある。

1. 節点  $i \in V^k$  を出入する枝の数に関する制約
2. 節点 0 を含まない部分巡回路を除く制約
3. 食事時間の時間調節を行う制約

#### 4.2.1 節点を出入する枝の制約

節点  $j$  を巡回路に含む場合、各節点  $i (i \neq j)$  から節点  $j$  に移動する枝は 1 つであり、節点  $i$  を巡回路に含む場合、節点  $i$  から各節点  $j (j \neq i)$  へ出ていく枝は 1 つであるので、次の制約式を得る。

$$\sum_{i \in V^k \setminus \{j\}} x_{ij} = y_j \quad (j \in V^k) \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V^k \setminus \{i\}} x_{ij} = y_i \quad (i \in V^k) \quad (4)$$

#### 4.2.2 部分巡回路除去制約

本研究では、巡回セールスマン問題においてしばしば用いられる ff (flow formulation) と呼ばれる部分巡回路除去制約を活用する。ff は、デポを出発したセールスマンが各節点から 1 単位ずつモノを回収し、デポに帰る収集経路問題を考えるものである [5]。ここで、新たに節点  $i$  から節点  $j$  へ移動中のセールスマンが保持しているモノ

の単位数を表す変数  $r_{ij}$  を導入すると、本研究の問題における部分巡回路除去制約として次の制約式を得る．

$$r_{ij} \leq (n + m - 1)x_{ij} \quad ((i, j) \in E^k) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V^k \setminus \{i\}} r_{ij} - \sum_{l \in V^k \setminus \{i\}} r_{li} = y_i \quad (i \in V^k \setminus \{0\}) \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V^k \setminus \{0\}} r_{0j} - \sum_{l \in V^k \setminus \{0\}} r_{l0} = - \sum_{i \in V^k \setminus \{0\}} y_i \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V^k \setminus \{0\}} r_{0j} = 0 \quad (8)$$

$$r_{ij} \geq 0 \quad ((i, j) \in E^k) \quad (9)$$

#### 4.2.3 食事時間調節制約

本研究の問題では、昼食のタイミングを考慮する必要がある．ここで、新たに補助定数  $A, B$  ( $0 < A < B$ ) を導入し、昼食に行くタイミングを訪問順序に関する制約式として表す．このとき、出発時刻や移動時間、滞在時間等を考慮して定数  $A, B$  を決定するものとする．また、食事処に行く回数は1回と仮定し、次の制約式によって昼食のタイミングを定める．

$$Ay_i \leq \sum_{j \in V_1^k} r_{ij} \leq By_i \quad (i \in V_2^k) \quad (10)$$

$$\sum_{i \in V_2^k} y_i = 1 \quad (11)$$

## 5 数値実験

Gurobi を用いてプログラムの作成を行った [6]．

### 5.1 京都府をモデルとした実験

京都府内にある 53 の地点を候補地とする．各候補地の緯度と経度を座標とし、これらを用いて移動距離をマンハッタン距離として算出する．また、Google 上でのコメントによる 5 段階評価の平均値とコメント数の多さを 5 段階で評価した値の合計に 10 を掛けたものを満足度、情報誌 [7] や Google 上に載っている平均滞在時間を滞在時間とし、滞在日数は 2 日間、一日の滞在時間は 9 時から 19 時を推定して 600 分、昼食は 12 時から 13 時くらいの間にとるよう定数  $A, B$  を定めて実験を行った．実験を行うにあたり、1 日目と 2 日目での節点集合  $V^1, V^2$  の与え方やデポの位置に変化を加え、10 個の問題のパターンを作成した．

### 5.2 実行結果と考察

表 1 は 10 個のパターンに対する実行結果をまとめたものである．これらの結果より、 $V^1$  と  $V^2$  の重なりが 50% または 100% の場合において、1 日目の満足度よりも 2 日目の満足度のほうが低くなるのがわかる．これは、1 日目にデポ付近にある満足度の高い候補地を先に巡回してしまうため起こったと考えられる．また、 $V^1$  と  $V^2$  の重なりがない場合においては、デポが京都駅であるときよりも烏丸駅であるときのほうが 2 日間の満足度の合計が高いことがわかる．これは、デポが市の中心部にある場合、周辺部の観光地まで時間を掛けずに行くことができるよ

うになり、行動可能範囲が広がるため、合計の満足度が高くなったと考えられる．このことより、京都で連日観光する場合には、京都駅よりも市の中心部に宿泊した方が高い満足度を得ることができるといえる．

表 1 数値実験の結果

パターン (デポ/ $V^1, V^2$ の分け方/重なり割合)	1 日目の満足度	2 日目の満足度	2 日間の合計
1(京都/東西/0%)	654	799	1453
2(京都/東西/50%)	824	646	1470
3(京都/南北/0%)	669	769	1438
4(京都/南北/50%)	807	632	1439
5(京都/100%)	824	646	1470
6(烏丸/東西/0%)	708	819	1527
7(烏丸/東西/50%)	836	688	1524
8(烏丸/南北/0%)	671	778	1449
9(烏丸/南北/50%)	837	643	1480
10(烏丸/100%)	837	624	1461

## 6 おわりに

本研究では、観光地滞在中の各日において観光客の満足度が最大となる巡回路を構成する問題を、昼食の時間を調節することも考慮して定式化を行った．しかし、この定式化では、毎日に問題を解かなければならないため、総合的な満足度の最大化が必ずできていないといえない．そのため、連日観光する際の総合的な満足度の最大化を行うことができるようにすることが今後の課題である．

## 参考文献

- [1] 統計データ (訪日外国人・出国日本人) | 統計・データ | 日本政府観光局, [https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/since2003\\_tourists.pdf](https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/since2003_tourists.pdf)
- [2] UNWTO Tourism Highlights, 2018 Edition | Tourism Market, <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284419876>
- [3] 倉田陽平・有馬貴之, 対話的旅行計画作成支援システムの実装と評価, <http://www.comp.tmu.ac.jp/kurata/research/YKurataTArima-JITR10.pdf>
- [4] 倉田陽平, ユーザー適応型旅行計画システムの課題 (邦訳), <http://www.comp.tmu.ac.jp/kurata/research/YKurata-AGILE09WS-JP.pdf>
- [5] 沼田一道, 『汎用 MIP ソルバによる巡回セールスマン問題の求解 多項式オーダ本数の部分巡回路除去制約』, オペレーションズ・リサーチ, 第 56 巻, 8 月号, pp.452-455, 2011
- [6] 久保幹雄・J.P. ペドロソ・村松正和・A. レイス, 『新しい数理最適化 Python 言語と Gurobi で解く』, 近代科学社, 2016
- [7] 白木信彦, 『京都ベストスポット』, 昭文社, 2018