

# 滞在時間による効用の増加を考慮した観光地選択巡回訪問問題

紺野 智之 (沼田 一道 教授, 松浦 隆文 助教)

## 1. はじめに

### 1.1. 背景

旅行には、旅行者自身が日程、内容などを設定する個人旅行と、旅行会社が日程、内容などを設定するパック旅行という 2 つの旅行形態がある<sup>[1]</sup>。個人旅行は自ら旅行計画を立てなければならず手間がかかるという欠点がある。その欠点からパック旅行を選択する旅行者も多い。しかし、旅行者の好みとは無関係な旅行計画であるため、満足度の低い旅行になることが少なくない。本研究では、旅行者の好みにより旅行計画を立てられる個人旅行を研究対象として取り上げる。

個人旅行者は旅行計画を立てるとき、観光したい観光地と各観光地を巡回する移動時間を考慮して決定することが多い。しかし、観光地を訪問して得られる効用は滞在時間によっても変化すると考えられる。本研究では観光したい観光地と各観光地を巡回する移動時間だけでなく、滞在時間も考慮して旅行計画を考えることにする。ここでいう効用とは、個人旅行者が旅行をすることによって得られる満足の度合いのことを指す<sup>[2]</sup>。

### 1.2. 本研究の目的

本研究では、旅行者が観光旅行をするとき、移動時間と滞在時間を考慮して旅行者にとって効用が大きくなる旅行計画を策定するための方法を提案することを目的とする。

## 2. 本研究で扱う問題

### 2.1. 問題の概要

いくつかの観光地が点在する観光地域を対象として、その中から観光地を選択し巡回することを考える (図 1)。そのとき、得られる効用が最大となるように、訪問する観光地と、その巡回路およびそれぞれの観光地での滞在時間を決定する。

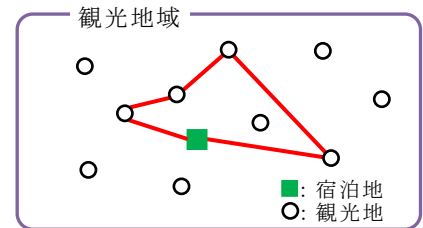


図 1 : 観光地域

### 2.2. 時間の定義

図 2 のように、宿を出発して宿に戻るまでの時間を観光可能時間と定義する。また、ある観光地を訪問したとき、その観光地に滞在する時間を滞在時間、駐車や入場券を買う時間など観光するならば必ず要する時間を必須滞在時間、滞在時間のうち正味観光できる時間を観光時間と定義する。

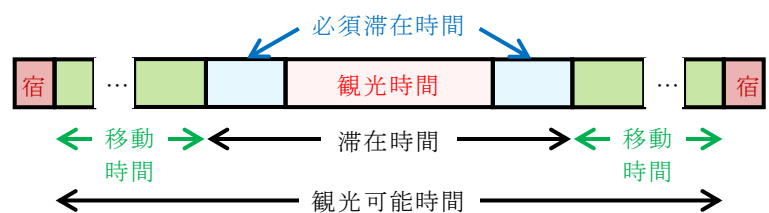


図 2 : 時間の定義

### 2.3. 効用関数の仮定

観光地  $i$  を訪問して得られる効用  $u_i$  は、観光時間  $t_i$  の増加関数であるが、その増加率は  $t_i$  が増加するにつれて逓減すると考えられる。また、効用は魅力度  $a_i$  が高い観光地ほど大きいと考えられる。そこで、本研究では観光時間と効用の関係を

$$u_i = a_i \sqrt{t_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots(2.1)$$

と仮定する。

## 2.4. 問題の設定

問題の設定として、観光地間の移動時間、それぞれの観光地の魅力度、それぞれの観光地の必須滞在時間は事前に把握していることとする。また、宿泊地を出発し、同じ宿泊地へ戻ることとし、その観光可能時間を  $T$  とする。その移動手段としては乗用車を想定する。

## 3. 定式化

まず定数の記号を定義する。宿泊地を  $0$ 、観光地を  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) とし、それぞれの観光地における魅力度を  $a_i$  とする。また、観光地  $i$  から観光地  $j$  への移動時間を  $c_{ij}$ 、1 日の観光可能時間を  $T$ 、観光地  $i$  における必須滞在時間を  $q_i$  とする。

次に変数を定義する。観光地  $i$  における観光時間を  $t_i$ 、観光地  $i$  で得られる効用を  $u_i$  とする。また、 $x_{ij}$  は観光地  $i$  から観光地  $j$  へ直接移動する(1)か否(0)かを表し、 $y_i$  は観光地  $i$  を訪問する(1)か否(0)かを表す。

以上の記号を用いると、本研究で扱う問題は(3.1)～(3.5)のように定式化できる。(3.1)式は目的関数であり、効用の最大化が目的である。(3.2)式は観光時間、必須滞在時間と移動時間の合計は観光可能時間以内であるという制約である。(3.3)式は、宿泊地からはいずれか 1 つの観光地を訪問し、宿泊地へはいずれか 1 つの観光地から戻ること示している。(3.4)式は、観光地  $i$  を訪問するときは、観光地  $i$  からはいずれか 1 つの観光地を訪問し、観光地  $i$  へはいずれか 1 つの観光地から訪問されることを示している。(3.5)式は、部分巡回路除去制約である。

$$\text{maximize } \sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n a_i \sqrt{t_i} \quad (3.1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n q_i y_i + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \leq T \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = 1, \quad \sum_{h=1}^n x_{ho} = 1 \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = y_i, \quad \sum_{h=1}^n x_{hi} = y_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} = |S| - 1, \quad \forall S \subset \{1,2,\dots,n\} \quad (3.5)$$

## 4. 解法

### 4.1. 厳密解法

前節までに示した問題の厳密解を、次の手順で求めた。

- ①  $n$ カ所の観光地の中から、 $r$  ( $1 \sim n$ )カ所の観光地を訪問するときの組合せを考える。
- ② それぞれの組合せについて最短巡回時間を計算する。
- ③ 観光可能時間から最短巡回時間を差し引いた時間に対して、効用が最大となるように観光時間を割り当てる。
- ④ 上記③の中で、効用が最大となるものを選ぶ。

観光地数の少ない場合は、この方法により数秒から数十秒で最適解を求めることができたが、観光地数が多い場合は、非常に長い時間を要した(表 1)。また、観光地数が増えるにつれて、実行時間が指数関数的に増加することがわかる。実際の問題を考えると厳密解法では対応しきれないので、次のような解法を提案する。

表 1: 厳密解法の計算時間

観光地数(個)	計算時間(秒)
8	0.031
9	0.172
10	1.482
11	17.612
12	226.045
13	3153.217

## 4.2. 提案解法

本研究では、訪問点集合を  $S$  と表し、 $0$  を起点として効用が増加しなくなるまで、訪問点を増やしていくという解法を提案する。

Step1: 未訪問点の観光地を1つずつ挿入し、その中で効用が最大となるものを  $S$  に追加する。

### 1. 移動時間の計算

$d(i, j) + d(j, i+1) - d(i, i+1)$  が最小になるように観光地  $i$  を選び、観光地  $i$  と観光地  $i+1$  の間に観光地  $j$  を挿入する (図3)。

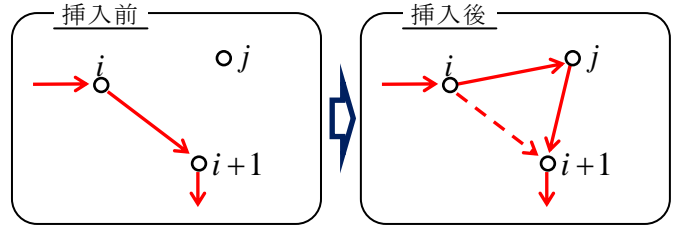


図3: 挿入法

### 2. 効用の計算

Lagrange の未定乗数法<sup>[3]</sup>を用いると Lagrange 関数は、

$$f(t_1, t_2, \dots, t_n, \lambda) = (a_1 \sqrt{t_1} + a_2 \sqrt{t_2} + \dots + a_n \sqrt{t_n}) - \lambda(t_1 + t_2 + \dots + t_n) \quad \dots(4.1)$$

となる。よって、効用が最大となる観光地  $i$  の観光時間  $t_i$  は、

$$t_i = \frac{a_i^2}{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2} T' \quad , \quad T' = t_1 + t_2 + \dots + t_n \quad \dots(4.2)$$

となるので、これを観光地  $i$  に割り当てる。

Step2: 観光地を追加しても効用が増加しなくなるまで Step1 を繰り返す。

## 4.3. 提案解法の計算時間と精度

表1と表2を比較すると、計算時間は極端に短くなっている。また、観光地数が10ヶ所のデータを用いて厳密解に対する提案解法の誤差率を計算したところ、1.12%となった。このように、観光地数が少ない場合については精度も良好である。

観光地数が多い場合については、厳密解を求めるのに膨大な時間を要するため比較不能であった。しかし、この提案解法での誤差として考えられるのは、訪問する観光地を選択する際の誤差と移動時間を計算する際の誤差の2つである。そのうち、前者については観光地数が多くなるほど大きくなるので、観光地数が増えるにつれて誤差率は増加すると考えられる。

表2: 提案解法の計算時間

観光地数	計算時間(秒)
10	0.001
30	0.016
50	0.032
100	0.047

## 5. 数値実験

### 5.1. 実験の概要

京都の名所である観光地30ヶ所を候補点として、効用が最大となる観光地を選択し、巡回路とそれぞれの観光地での滞在時間を提案解法により求める。

### 5.2. 実験の設定

出発地点を京都駅付近と設定して、30ヶ所の観光地を候補点とする(図4)。すべての観光地の必須滞在時間を15分とする。魅力度は旅行者の主観により変化するものであるが、ここでは、“Web-Town 京都 Kyoto”<sup>[4]</sup>で1位から10位とされている観光地を魅力度3、同様に11位から20位を魅力度2、21位から30位を魅力度1に設定する。

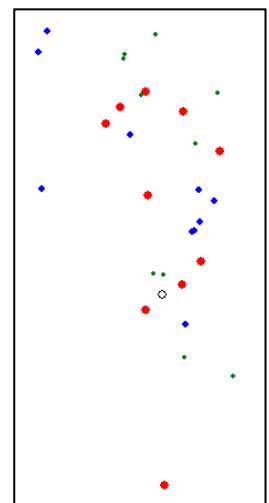


図4: 候補点の配置

### 5.3. 結果と考察

図 5, 表 3 は観光可能時間が 240 分のとき, 図 6, 表 4 は 420 分のときの問題例に対する結果である. この結果から, どちらの場合も魅力の高い観光地が多く選択される傾向にあるが, 観光可能時間が長いときのほうが, 距離が遠くても魅力の高い観光地にも多く訪問する. また, 魅力が高い観光地に長い時間滞在し, 魅力が低い観光地には短い時間滞在している. このことは, 現実に旅行をするとき「時間があれば少し遠くても魅力のある観光地に行きたい」, 「魅力的な観光地は長く滞在したい」という人間の行動に即していると考えられるため, 本研究で扱っているモデルは旅行者の効用感覚を表現できていると言える.

次に, 滞在時間による効用の増加を考慮せず, 魅力の大きさに関係なく滞在時間を一定にした上で効用が最大になる巡回路を考えたとする. この場合には, たとえ魅力が低い観光地であっても訪問するのであれば他の魅力の高い観光地と同じ時間滞在することになってしまう. ところが, 本研究のように滞在時間による効用の増加を考慮すると, 魅力が高い観光地にはより長く滞在し, 魅力が低い観光地であれば短めに滞在することになる. つまり, より有効に観光可能時間を割り当てることができるため, より効用の大きい旅行計画が立てられると考えられる.

また, 今回は必須滞在時間を一定にし, 魅力度を 3 段階に設定したため, 滞在時間が 3 段階の結果になったが, 個別に設定をすればそれぞれが異なって求めることができる.

## 6. まとめ

本研究では, 旅行計画を立てるときに移動時間や魅力度だけでなく滞在時間を考慮に入れて, 効用が最大となる旅行計画を立てる方法を提案した. この方法により, 滞在時間を考慮して旅行計画を立てることの有用性が示された. また, 本研究で仮定した効用関数は旅行者の感覚に即したモデルとなっていることが確かめられた. 一方で, 観光地を訪問する時間帯によって効用が変化することや, 営業時間などを考慮していない. これらの点については今後の課題としたい.

## 参考文献

- [1] ツーリズム・マーケティング研究, <http://www.tourism.jp/> (2011.12.16).
- [2] デジタル大辞泉, <http://kotobank.jp/dictionary/daijisen/> (2011.12.16).
- [3] 加藤直樹(2008), 数理計画法, コロナ社.
- [4] Web-Town 京都 Kyoto, <http://219.166.9.186/> (2011.12.16).

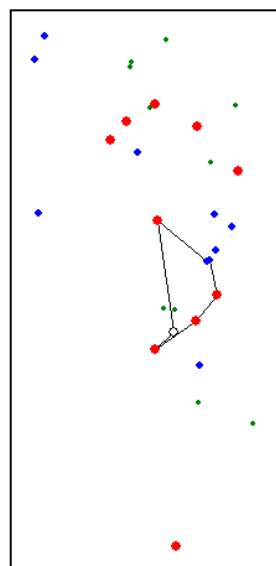


図 5 : 巡回路  
(観光可能時間 240 分)

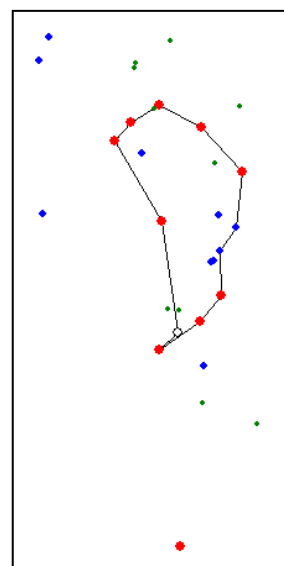


図 6 : 巡回路  
(観光可能時間 420 分)

表 3 : 各観光地での滞在時間  
(観光可能時間 240 分)

魅力度	選択観光地数	滞在時間(分)
3	4	38
2	2	31
1	0	-

表 4 : 各観光地での滞在時間  
(観光可能時間 420 分)

魅力度	選択観光地数	滞在時間(分)
3	9	35
2	2	29
1	0	-