

TSP に基づく共有資源の社会的利用モデルの提案と分析

A proposal and analysis on social utilization model
of shared resource based on TSP小野 良太*¹ 川村 秀憲*¹ 鈴木 恵二*¹
Ryota Ono Hidenori Kawamura Keiji Suzuki*¹北海道大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

This paper model service infrastructure using problem that independent agents want to optimize limited service infrastructure on TSP theory and discuss this model's meaning and availability. In addition, analyze structures of solution spaces in this problem through solving small examples, and verify efficiency answers provided by the payoff matrixes.

1. はじめに

人々の行動の多くは誰もがほぼ自由に利用することができる道路、交通機関、娯楽施設、ネットワークなどのサービスインフラを利用することで成り立っている。一方で、これらのサービスインフラは多くの人々が集中的に利用し混雑が発生すると、不快な思いをしたり、満身に利用できないという状況が発生しうる。一方でこれらのサービスインフラをいつでも快適に利用できるようにするためには、大規模な工事、改修のため莫大なコストがかかる上に、そのサービスインフラの利用時間の多くを占めるであろう非混雑時の利用を考えると非効率となることが想定される。そのため、近年ではスマートグリッドに代表されるような、IT の観点からサービスインフラを効率的に利用しようという試みに注目が集まっている。国内でも同様の視点で、群ユーザ支援と呼ばれる研究が行われており個々のユーザのみならず複数のユーザを集めた群としての利用効率の向上を目標としている。その具体例としてテーマパーク問題やカーナビゲーション問題の研究がされており様々な知見が得られているが、より一般的に数理的な分析を行うことでこれらの研究の理論的根拠となり得るし、より多くの問題に対しこれらの研究で得られた知見を活用し得るだろう。そこで本論文ではサービスインフラの利用を抽象化しその利用モデルを提案する。また、そのモデルに基づきこれらの問題においてサービスインフラを効率的に利用しようとする上で何が問題となるのかについて考察する。

2. サービスインフラの利用モデル

本章では本論文にて扱うサービスインフラの定義、サービスインフラの利用モデルの定式化、エージェントの行動原理についての説明を行う。

2.1 エージェントとサービスインフラ

サービスインフラの利用モデルではサービスインフラを利用する人々をエージェントと定義する。エージェントがサービスインフラを利用するとサービスインフラが提供するサービス資源を得ることで効用が得られる。エージェントとサービスインフラの間には以下の関係がある。

- 他のエージェントに左右されず自由にサービスインフラを利用できる
- 同時に同じサービスインフラ利用するエージェントが多いほど得られる効用は減少する
- エージェントは複数のサービス資源を得た時に効用が単純な和ではなく増加、減少する場合がある

サービスインフラの例としては先述したような道路、交通機関、娯楽施設、ネットワークなどが挙げられるであろう。

2.2 定式化

エージェント集合 A とサービスインフラが提供するサービス資源の集合 R を以下のように定義する。

$$A = \{a | a = 1, 2, \dots, n\}$$

$$R = \{r | r = 1, 2, \dots, m\}$$

A はサービスインフラを利用するエージェントの集合であり、 R はサービスインフラの集合である。同じサービスインフラでも時間が異なるものは R においては別のサービスインフラとして扱われるものとする。

次に、エージェントが利用するサービスインフラの組は R のべき集合 2^R で表されそのうち実行可能なものの集合をその部分集合

$$S_a = \{S_1, S_2, \dots\} \subseteq 2^R$$

と定義する。例えば、同じ期間に複数のサービスインフラを使うという戦略や異なる時間に同じサービスインフラを複数回使うという戦略は実行不能な戦略とするなどが考えられる。この時、 S_a は最大で 2^m 個の要素を持ち、全エージェントの戦略を考えると戦略の組は 2^{nm} 個となる。

エージェント a がとる戦略は S_a を用いて

$$X_a \in S_a$$

と表される。また、エージェント a を除いた全エージェントのとる戦略の集合を X_{-a} と表すこととする。

さらにサービスインフラのバンドルを以下のように定義する。

$$B \subseteq R$$

連絡先: 小野 良太, 北海道大学 大学院情報科学研究科, 札幌市北区 ~, 011-, Fax 番号, ono@complex.eng.hokudai.ac.jp

B はサービスインフラ集合 R の部分集合であり、そのエージェント a がサービスインフラのバンドル B に対して得られる効用を

$$g_a(B) \geq 0$$

とする。ここでサービスインフラ単体でなくバンドルに対して効用を与えたのは、例えばあるサービスインフラを利用してからでなくては効用を得られないというサービスインフラ、組で利用することで効用が増す（あるいは減る）サービスインフラを表現するためである。

効用に対し、サービスインフラ r を複数のエージェントが使った時に利得が減少するということを表現するためにコストを導入する。コストは以下のように定義する。

$$c(r) = h(n_r(\mathbf{X}_a, \mathbf{X}_{-a}))$$

と表す。ここで $h(n_r(\mathbf{X}_a, \mathbf{X}_{-a}))$ は $x > y$ ならば $h(x) > h(y)$ となる狭義単調増加関数であり、 $h(1) = 0$ であるものとする。

また、 $n_r(\mathbf{X}_a, \mathbf{X}_{-a})$ 各エージェントが戦略を決定した後に、各サービスインフラに対してそのサービスインフラを利用するエージェント数を以下のように定義できる。

$$n_r(\mathbf{X}_a, \mathbf{X}_{-a}) = \sum_{a=1}^n f(r, \mathbf{X}_a)$$

$$f(r, \mathbf{X}_a) = \begin{cases} 1 & \text{if } r \in \mathbf{X}_a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

なお、 n_r はサービスインフラを使うエージェントの数であるので非負の整数となる。

さらに、効用 $g_a(B)$ とコスト $c(r)$ を用いてエージェント a が戦略 \mathbf{X}_a により得られる利得を以下のように定義する。

$$p_a(\mathbf{X}_a) = g(\mathbf{X}_a) - \sum_{r \in \mathbf{X}_a} c(r)$$

また真の利得である $p_a(\mathbf{X}_a)$ の他にエージェント自身が知覚している知覚利得 $p'_a(\mathbf{X}_a)$ を定義する。エージェントは知覚利得 $p'_a(\mathbf{X}_a)$ に基づいて戦略を決定することになる。これはエージェントが実際の利得 $p_a(\mathbf{X}_a)$ を観測できない場合があるという想定に基づく。

さらに、社会全体の効用として社会の効用 u を以下に定義する。

$$u = \sum_{a=1}^n p_a(\mathbf{X}_a)$$

社会の効用は全てのエージェントの利得の総和であり、社会全体の目的は社会の効用 u を最大化することである。

2.3 エージェントの行動原理

全てのエージェントは合理的に戦略を決定するものとする。つまり、

$$\mathbf{X}_a^* = \operatorname{argmax} p'_a(\mathbf{X}_a)$$

となる最適反応戦略 \mathbf{X}_a^* をとる。上式からわかるとおり、エージェントは真の利得 $p_a(\mathbf{X}_a)$ ではなく、仮の利得 $p'_a(\mathbf{X}_a)$ に

基づいた最適反応戦略 \mathbf{X}_a^* をとるため、 $p_a(\mathbf{X}_a)$ のもとでも \mathbf{X}_a^* が最適反応戦略となっているとは限らない。

エージェント数やサービスインフラの数が小さい時は真の利得 $p_a(\mathbf{X}_a)$ に近い $p'_a(\mathbf{X}_a)$ を与えることは容易であるが、エージェント数及びサービスインフラの数が大きくなると、 $p_a(\mathbf{X}_a)$ を求めることは困難である。 $p'_a(\mathbf{X}_a)$ の与え方によりエージェントの戦略決定が左右されるうえに、 $p'_a(\mathbf{X}_a)$ の与え方によってはエージェントに真の利得 $p_a(\mathbf{X}_a)$ を与える場合よりも社会の効用 u を向上させ得る可能性もあるため、この $p'_a(\mathbf{X}_a)$ をいかに与えるべきかということは本論文における重要な検討事項の一つである。

3. サービスインフラ利用型 TSP

本章では前章にて定義したサービスインフラの利用モデルのより具体的なモデルとしてサービスインフラ利用型 TSP を定義する。なお、一般的な TSP の定義については紙面の都合上割愛させていただく。

3.1 定式化

エージェント集合 A 、都市集合 V 、エッジ集合 E を以下のように定義する。

$$A = \{a | a = 1, 2, \dots, n\}$$

$$V = \{v | v = 1, 2, \dots, m\}$$

$$E = \{e | e = 1, 2, \dots, k (k = \frac{t}{2}(n-1))\}$$

加えて、サービスインフラ利用型 TSP では時刻 t が定義される。時刻が 1 進むごとにエージェントは 1 都市ずつ移動することができるものとする。すなわち、 $t = m$ となった時に各々のエージェントは巡回路を得る。

また、各エッジに対し移動コスト c_e が定義される。これはサービスインフラの利用モデルにおける効用 $g(B)$ に相当する。

各エージェントはそれぞれ巡回路を表す x_{aet} を持つ。巡回路は以下のように定義される。

$$x_{aet} = \begin{cases} 1 & \text{エッジ } e \text{ が時刻 } t \text{ におけるエージェント } a \text{ の経路である} \\ 0 & \text{エッジ } e \text{ が時刻 } t \text{ におけるエージェント } a \text{ の経路でない} \end{cases}$$

これはサービスインフラの利用モデルではエージェントの戦略 \mathbf{X}_a に相当する。

次に、エッジ e を時刻 t に使う時にかかる追加コスト d_{et} を

$$d_{et} = c_e \cdot \left(\sum_{a=1}^n x_{aet} - 1 \right)$$

と定義する。これはサービスインフラの利用モデルのコスト $c(r)$ と対応しており、エッジを利用するエージェント数を表す $\sum_{a=1}^n x_{aet}$ に関する単調増加関数であり、 $\sum_{a=1}^n x_{aet} = 1$ の時 $d_{et} = 0$ となっている。

さらに、実コスト $p_{aet}(x_{aet})$ を以下のように定義する。

$$p_{aet}(x_{aet}) = c_e + d_{et}$$

これはサービスインフラの利用モデルのエージェントの真の利得 $p(\mathbf{X}_a)$ に相当しており、同様にエージェントの知覚利得 $p'_{aet}(x_{aet})$ も定義する。具体的な知覚利得 $p'_{aet}(x_{aet})$ の与え方についてはここでは定義しない。

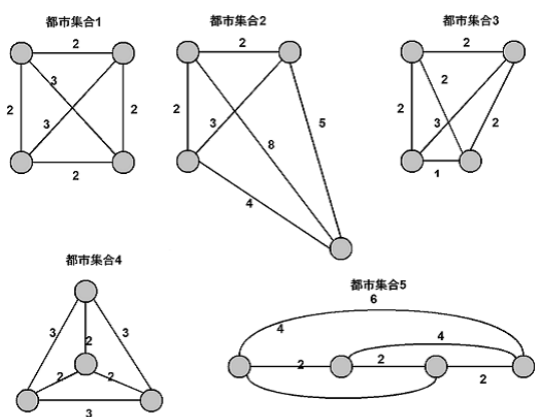


図 1: 実験に用いた都市集合の種類

以上を用いて目的関数を以下のように定義する .

$$\min \sum_{a=1}^n \sum_{e=1}^k \sum_{t=1}^m p_{aet}(x_{aet}) x_{aet}$$

s.t. $\sum_{e=1}^k x_{aet} = n$ $a=1,2,\dots,n$ $t=1,2,\dots,m$ について
 $x_{aet} \in (0, 1)$ $a=1,2,3,\dots,n$ $e=1,2,\dots,k$ $t=1,2,\dots,m$ について
 $a=1,2,\dots,m$ について全ての解は巡回路を生成する

全エージェントの実コストの総和 (以後、総コストと呼ぶ) を最小化することがサービスインフラ利用型 TSP の目的である . すなわち、総コストが低いほどサービスインフラの利用モデルで言うところの社会の効用 u が高いものとする .

4. 実験

本章ではサービスインフラ利用型 TSP の問題例を設定し実験を行い、仮の利得 $p'_{aet}(x_{aet})$ や都市集合の与え方によって総コストにどれほどの影響を与えるのかを調査した .

4.1 実験設定

今回用いる都市集合を図 1 に示した . 今回は主に都市数が 4 , エージェント数が 5 の問題に注目して都市構造を変化させた時に解にどのような影響が表れるかについて考察する . また、今回用いた $p'_{aet}(x_{aet})$ は以下の 2 通りである .

- モデル 1 : $p'_{aet}(x_{aet}) = p_{aet}(x_{aet})$
- モデル 2 : $p'_{aet}(x_{aet}) = c_e$

これらの $p'_{aet}(x_{aet})$ について、

- 得られた解のうち総コストが最小となる解の割合
- 得られた解の平均値

の 2 点について調査を行った .

4.2 結果

結果を図 2 , 3 に掲載した . 図 2 における最小値とは、全ての解のうち最小となる総コストの値を全探索により求めたものである .

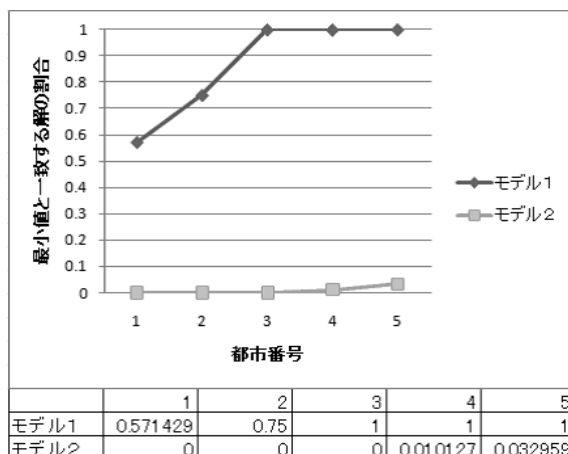


図 2: 得られた解のうち最小値と一致する解の割合

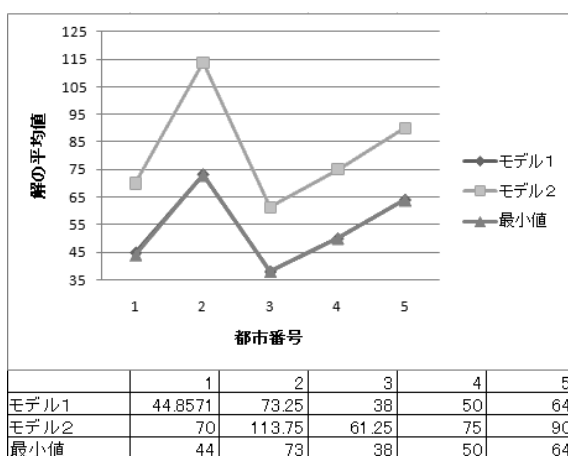


図 3: 得られた解の平均値

得られた解の平均値を比較すると、モデル 1 は最小値に近い値が得られており、一方でモデル 2 はそれに比べ 1.5 倍程度の値になっていることがわかる .

また、最小値と一致する解の割合を見ると、モデル 1 では都市集合 3 ~ 5 では全ての解が最小値と一致しているが、都市集合 1 と 2 において一致しない場合もあるということが見受けられる . 一方でモデル 2 においては都市集合 4 , 5 でわずかに最小値と一致することがあるのみで、全く最小値となる解を得られていないことがわかる .

4.3 考察

モデル 1 のように真のコスト $p_{aet}(x_{aet})$ が与えられた時には高い確率で総コストが最小値となる解を得ることができ、また、そのような解が得られなかった場合も最小値に近い解を得ることができることがわかった . 一方でモデル 2 のような不正確なコストを与えた場合は平均して 1.5 倍程度総コストが増加することがわかった .

しかし、今回の実験のようにエージェント数、都市数が小規模の場合は真のコスト $p_{aet}(x_{aet})$ を求めることが容易であったが、エージェント数、都市数がより大規模になった場合真のコスト $p_{aet}(x_{aet})$ を求めるのが困難となる . したがって、真のコスト $p_{aet}(x_{aet})$ には至らないまでも、それに近い $p'_{aet}(x_{aet})$

を現実的な計算時間で求めるようなモデルを構築する必要があるだろう。

5. おわりに

本論文ではサービスインフラの利用効率化を目指すために、サービスインフラの利用を抽象化した利用モデルとしてサービスインフラの利用モデルを提案した。また、その具体的な問題例としてサービスインフラ利用型 TSP を定義し、それに基づいた小規模な例題を解くことでサービスインフラの効用を正確に把握できる場合は問題無いが、不正確な効用しか与えられない場合は効用が減少するという点について一定の知見が得られた。

今後の研究としては、より様々な種類の $p'_{aet}(x_{aet})$ を設定し実験、比較を行うこと、5都市以上においても同様のことが言えるかどうかという考察、大規模な都市数、エージェント数においてエージェントが最適反応戦略を取ることができるのか検証を行う必要があるだろう。

参考文献

- [1] 鈴木光男: 新ゲーム理論, pp3-104, 勁草書房, (1994)
- [2] 山本芳嗣, 久保幹雄: 巡回セールスマン問題への招待, pp.85-118, 朝倉書店, (1997)