

中山間地域における乗合タクシーの供給能力に関する分析

鳥取大学	学生会員	○藤本 隆志
鳥取大学	正会員	谷本 圭志
鳥取大学	学生会員	馮 文浩

1. はじめに

中山間地域では、路線バスから乗合タクシーへの転換を模索する自治体が増えている。しかし、運転手の人数が限られているもとで事業者が乗合タクシー事業を現実的に行えるのかどうかを把握する手法がないため、その転換を躊躇する場合も少なくない。そこで本研究では、乗合タクシーの運用を再現するとともに、その結果を用いて供給能力を明らかにするためのモデルを混合整数計画法により構築する。その上で、実際のタクシーの運行履歴データを用いて、乗合タクシーの供給能力を実証的に評価する。

2. 本研究の考え方

運転手の人数を明示的に与え、そのもとでの乗合タクシーの運行計画を導出するためのモデルを構築する。その上で、運転手の人数が不足すると解が存在しないことに着目して供給能力を求める。モデルの構築に際しては、以下の前提に基づく。

- ・顧客は運送を希望する時刻を事業者伝えて予約をする。朝の時点で、その日におけるすべての予約を事業者が知っている。
- ・顧客が希望する時刻から一定の時間以内に車両を割り当てる。この時間内であれば、顧客は予約を取り消すことはない。
- ・予約が入った顧客は全員運送する。
- ・車両には複数の顧客が乗り合えるが、収容人数以下でなければならない。
- ・運転手は、車庫がある拠点（以下、「営業所」と言う）から仕事を開始（以下、「始業」と言う）し、営業所に帰ってきて仕事を終える（以下、「終業」と言う）。
- ・運転手は、所定の勤務時間以内で仕事を行う。昼には、営業所で一定時間、休憩をとる。

3. モデルの構築

運転手は m 人であり、任意の運転手を k ($1 \leq k \leq m$) で表す。任意の一日に運送する顧客は n 人であるとする。このもとで、顧客を車両に乗車もしくは降車させる作業を i ($1 \leq i \leq 2n$) で表し、 $1 \leq i \leq n$ は乗車、 $n+1 \leq i \leq 2n$ は降車を表す。なお、 i ($1 \leq i \leq n$) と $n+i$ は、それぞれ同一の顧客の乗車と降車を表しており、その意味で、 i は任意の顧客を表す変数でもある。

また、 $i = 2n+k$ ($1 \leq k \leq m$) は休憩、 $i = 2n+m+1$ は始業、 $i = 2n+m+2$ は終業を表す。以後、任意の i ($1 \leq i \leq 2n+m+2$) を一括して「作業」と呼ぶ。

運転手が作業 i を行った次に作業 j を行うかどうかをバイナリ変数 x_{ij} で表し、以下のように定義する。ただし、 $i \rightarrow j$ は作業 i を終えた次に作業 j を行うことを意味する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & (i \rightarrow j \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1 \leq i, j \leq 2n+m+2) \quad (1)$$

任意の作業 i から j への移動に要する距離を L_{ij} とする。事業者は走行距離を最小化するとする。このもとで、事業者の目的関数は次式で表される。

$$\sum_{i=1}^{2n+m+2} \sum_{j=1}^{2n+m+2} L_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

作業 i から j への移動に要する時間を c_{ij} 、作業 i の実施時刻を t_i で表す。すると、これらの時刻には以下の制約が課される。ただし、 M は禁止的に大きな値である。

$$t_j \geq t_i + c_{ij} - M(1 - x_{ij}) \quad (1 \leq i, j \leq 2n+m+2) \quad (3)$$

キーワード 乗合タクシー、供給能力、混合整数計画法

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科

TEL 0857-31-5310

顧客が希望する乗降時刻と実際の乗降のそれとの差は、一定の時間内に収めなければならない。顧客が希望する時刻を d_i 、許容範囲を ε (以下では、これを「調整時間」と呼ぶ) で表すと、この条件は以下のよう

$$-\varepsilon \leq d_i - t_i \leq \varepsilon \quad (1 \leq i \leq 2n) \quad (4)$$

モデルはその他にも多くの式から構成されるが、詳細は割愛する。

4. 供給能力の分析

(1) 分析用のデータ

神石高原町におけるタクシー事業者の運行履歴データを用いる。履歴データは2019年9月の4日間である。事業者の運転手は現行と同じ4人の運転手がいるものとする。

(2) 供給能力の評価

以下の3つのケースを検討する。

- 1) 調整時間を設けず、乗り合わずに運送する。個々の顧客にリアルタイムで配車する形態であり、通常のタクシーサービスである。
- 2) 調整時間を30分とし、乗り合わずに運送する。
- 3) 調整時間を30分とし、最大8人まで乗り合って運送する。

それぞれのケースにおいて、すべての顧客を運送するのに何人の運転手が必要となるのか、ならびに、1日における運転手1人あたりの走行距離をモデルにより計算した。この走行距離が供給能力である。結果を図1,2に示す。図中のプロットは、黒色、青色、緑色、赤色の順に、運転手が4人、3人、2人、1人ですべての顧客を運送できることを示している。運転手が不足する場合には、その人数を付したプロットが存在しない。図1は、9月における平均の顧客数に最も近い12人/日であった9月2日と24日における結果である。図2は、顧客数が最も多い19人/日であった9月3日と13日における結果である。

図1,2より、通常のタクシーであるケース1)と比べて、ケース3)である乗合タクシーは運転手一人あたりの走行距離、すなわち、供給能力がどの日も改善されており、最大で3倍ほどであることが分かる。また、運転手の数が少なくなってもすべての顧客を

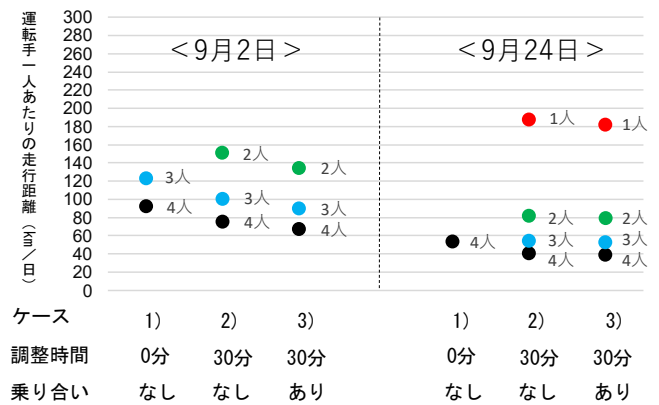


図1 必要となる運転手数 (顧客数 12 人)

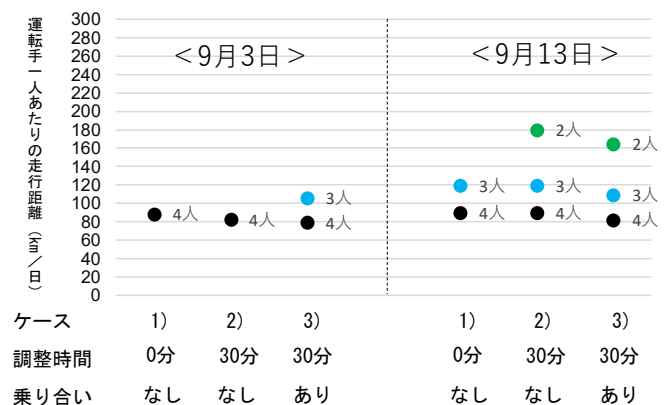


図2 必要となる運転手数 (顧客数 19 人)

運送できることが確認できる。一方、タクシーに調整時間を設けたタクシーサービスであるケース2)においても、通常のタクシーと比較して多くの日で先述と同等の改善がなされている。

以上のように、乗合タクシーによる供給能力が定量的に把握できるとともに、乗合タクシーの代替策との比較も容易に行うことができる。今回の計算例では、供給能力の確保という観点では乗り合いの効果はさほど大きくなく、調整時間を設けることで十分であると考えられる。

5. おわりに

乗合タクシーの運用を再現するモデルを構築するとともに、その結果を用いて供給能力を実証的に評価することができた。今後は、居住地の時空間的な分布が異なる場合に供給能力がどれほど変化するのかに関する分析や、他地域を対象とした検証を進めていきたい。