

予約の調整を考慮したタクシー事業の供給能力に関する分析

鳥取大学

学生会員

○馮 文浩

鳥取大学

正会員

谷本 圭志

1. はじめに

中山間地域では、路線バスから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、タクシー運転手の減少や高齢化が進行している中、タクシー事業で顧客の需要を満たすことが可能かは必ずしも自明でないため、転換に躊躇する事業者は少なくないと考えられる。そこで本研究では、所与の顧客並びに運転手数のもとで、予約の調整を想定した運転手の運用を導出するモデルを混合整数計画法により構築する。その上で、実際の乗降実態データを用いて、事業の供給能力を実証的に検討する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 既往研究

数理的アプローチに基づいてタクシー事業に焦点を当てた研究にはいくつかの蓄積がある。土屋ら¹⁾は、タクシー運転手が貸走業務の合間に集落を巡回して、付随的なサービスをどれほど供給可能であるかを分析するための方法論を時空間プリズムの概念を援用して構築している。谷本ら²⁾は、割り当て問題を用いて、タクシーを活用した貨客混載システムの導入可能性として、導入によって利益、運行がどのように変化するか分析するための手法を開発している。

一方、限られた運転手で多くの顧客を運送するために、顧客が希望する時刻通りに運行するのではなく、時刻の変更を顧客に申し出て調整することや、一定の時間の幅を予め設けた運行時刻を設定することが現実に行われている。しかし、これまでの研究では、このような予約の調整を踏まえたモデル化はなされていない。

そこで、本研究では予約の調整を行うことで、タクシー事業者の供給能力がどれほど改善するのかを評価するモデルを構築するとともに、それを用いて供給能力を実証的に分析する。

(2) モデルの考え方

運転手の人数を明示的に与え、そのもとでの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場合にはモデルの解がないことに着目し、モデルを用いてマンパワーの観点から供給能力を求める。

モデルを構築するに際して、いくつかの前提を設定する。それらを以下に示す。

- ・顧客は乗車する前に予約を行う。
- ・顧客の予約を断ることはないが、所定の時間以内で時刻の変更を求めることがある。
- ・車両の運行や顧客の行動に不確実性はない。すなわち、車両の遅延や顧客が運送中に予定を変更することはない。
- ・顧客は車両に乗り合わない。
- ・運転手は、車庫がある拠点（以下、「営業所」と言う）から仕事を開始し、営業所にもどって仕事を終える。
- ・運転手は、所定の勤務時間以内で仕事を行う。昼には、営業所で休憩をとる。
- ・次の用務が決まっていない場合は、運転手は営業所にもどって待機する。

3. モデルの構築

任意の運転手を k ($1 \leq k \leq m$)、顧客を運送する作業を i ($1 \leq i \leq n$)、運転手の始業を $i=0$ 、終業を $i=n+m+1$ 、昼休憩を $i(n+1 \leq i \leq n+m)$ で表す。以後、任意の i ($0 \leq i \leq n+m+1$)を一括して「作業」と呼ぶ。なお、個々の作業 i ($1 \leq i \leq n$)はある顧客の運送を意味するため、以下では文脈に応じて、作業 i を顧客 i と言う場合がある。作業 i の次に作業 j を実施するか否かをバイナリ変数 x_{ij} で表す。ただし、作業 i の次に作業 j を実施することを $i \rightarrow j$ で表す。

キーワード 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

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

同様に、運転手 k が作業 i を担当するか否かをバイナリ変数 z_{ik} で表す。ただし、運転手 k が作業 i を担当することを $i:k$ で表す。

$$z_{ik} = \begin{cases} 1 & (i:k \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (1 \leq i \leq n+m, 1 \leq k \leq m) \quad (2)$$

顧客 i が希望する出発時刻（作業 i の開始時刻）を $h_{i,in}$ 、到着時刻（作業 i の終了時刻）を $h_{i,out}$ 、移動に要する時間を $c_i (= h_{i,out} - h_{i,in})$ で表す。顧客は乗車を希望する時刻を事業者に伝えて予約するが、事業者は ε の範囲でその時刻を調整することができる。調整の結果として、実際に顧客 i が出発ならびに到着する時刻をそれぞれ $y_{i,in}, y_{i,out}$ で表す。以上を踏まえると、これらの時刻に関して、次式が成立する。

$$h_{i,in} - \varepsilon \leq y_{i,in} \leq h_{i,in} + \varepsilon \quad (1 \leq i \leq n) \quad (3)$$

$$y_{i,out} = y_{i,in} + c_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (4)$$

作業 i ($1 \leq i \leq n$) の終了後、運転手に次の作業の予定が入っていれば、直接その作業を開始する場所に向かうことができるが、そうでない場合には、営業所にもどって待機する。作業 i ($1 \leq i \leq n$) を終了した場所から営業所にもどる際に通過する地点の集合を A_i 、すべての地点の集合を A 、任意の地点を s で表し、 $s = 0$ は営業所を表す。ただし、 A_i には作業 i を終了した場所と営業所が含まれる。作業 i を終了した場所から s に行くか否かをバイナリ変数 v_{is} で表す。ただし、作業 i を終了した場所から地点 s に行くことを $i \rightarrow s$ で表す。

$$v_{is} = \begin{cases} 1 & (i \rightarrow s \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1 \leq i \leq n, s \in A_i) \quad (5)$$

運転手が営業所にもどっている最中に次の作業の予約が入ることもある。したがって、作業 i を終了した後、 A_i に含まれる一つの地点から、次の作業に向かうことになる。なお、運転手が営業所にもどっている

最中に次の作業の予約が入らない場合は営業所で待機し、次の作業の開始場所へは営業所から直接向かうことになるが、 A_i には営業所も含まれている。

いずれにしても、作業 i を終了した後、 A_i に含まれる一つの地点から、次の作業に向かうことになる。以上より、 v_{is} に関して次式が成立する。

$$\sum_{s \in A_i} v_{is} = 1 \quad (1 \leq i \leq n) \quad (6)$$

同様に、地点 s から次の作業 j を開始する場所に行くか否かをバイナリ変数 u_{sj} で表す。ただし、地点 s から作業 j を開始する場所に行くことを $s \rightarrow j$ で表す。

$$u_{sj} = \begin{cases} 1 & (s \rightarrow j \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1 \leq j \leq n, s \in A) \quad (7)$$

すると、 u_{sj} に関して次式が成立する。

$$\sum_{s \in A} u_{sj} = 1 \quad (1 \leq j \leq n) \quad (8)$$

作業 i の次に作業 j を行い、かつ、作業 i を終了した場所から地点 s に向かう場合、作業 j は地点 s から向かうことになる。この条件は次式で表される。

$$u_{sj} \geq v_{is} + x_{ij} - 1 \quad (1 \leq i, j \leq n, s \in A_i) \quad (9)$$

作業 i の終了場所から地点 s までの所要時間を D_{is} 、地点 s から作業 j の開始場所までの所要時間を D_{sj} で表す。すると、作業 j の開始時刻は、作業 i の終了時刻に作業 j までの回送に要する時間を加えた時刻以降であるとの条件は次式で表される。ただし、 M は十分に大きな値である。

$$y_{j,in} \geq y_{i,out} + \sum_{s \in A_i} (D_{is} v_{is} + D_{sj} u_{sj}) - M(1 - x_{ij}) \quad (1 \leq i, j \leq n) \quad (10)$$

作業 i の終了後、営業所へ戻る途中に地点 s を通過する時刻は次式で表される。

$$y_{i,out} + \sum_{s \in A_i} D_{is} v_{is} \quad (1 \leq i \leq n) \quad (11)$$

作業 i の次に作業 j を実施する場合、作業 j の予約が入るまでは作業 j の開始場所に向かうことができない。また、予約の入るタイミングが遅ければ、前の作業が終わって営業所にもどった後にその予約を受け取り、営業所から作業 j の開始場所に向かう。このことは、次式で表される。ただし、顧客 i は、自らが乗車する営業所から顧客 i の開始場所までの所要時間 d_{0i} だけ前の時刻に予約をするものとする。このことは、タクシー事業者はリアルタイムで配車する場面を想定していることになる。

$$y_{i,out} + \sum_{s \in A_i \setminus \{0\}} D_{is} v_{is} + M v_{i0} \geq h_{i,in} - d_{0i} - M(1 - x_{ij}) \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n) \quad (12)$$

どの作業も必ず行われることは、次式で表される。

$$\sum_{i=0}^{n+m+1} x_{ij} = 1 \quad (1 \leq j \leq n+m) \quad (13)$$

$$\sum_{j=0}^{n+m+1} x_{ij} = 1 \quad (1 \leq i \leq n+m) \quad (14)$$

運転手が m 人いることは、始業の後に m 件の作業に入ることができ、また、終業の前に m 件の作業を実施することができることと等価である。したがって、次式が成立する。

$$\sum_{j=1}^{n+m+1} x_{0j} = m \quad (15)$$

$$\sum_{i=0}^{n+m} x_{i,n+m+1} = m \quad (16)$$

始業と終業を除くすべての作業は 1 人の運転手が担当する。この条件は次式で表される。

$$\sum_{k=1}^m z_{ik} = 1 \quad (1 \leq i \leq n+m) \quad (17)$$

作業 i の次に作業 j を実施する場合、どちらの作業も運転手 k が担当する。この条件は次式で表される。

$$z_{jk} \geq z_{ik} + x_{ij} - 1 \quad (1 \leq i, j \leq n+m, 1 \leq k \leq m) \quad (18)$$

タクシー事業者は走行時間を最小化する。すると、タクシー事業者の目的関数は次式で表される。

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{s \in A_i} (D_{is} v_{is} + D_{sj} u_{sj}) \rightarrow \min \quad (19)$$

運転手の人数が少なくなると、一人の運転手が走行する時間や距離は大きくなる。解が存在しなくなる手前での人数のもとでの一人の運転手当たりの走行時間(距離)が供給の限界であり、その値が供給能力である。以下ではこの考え方に基づいて、供給能力を実際に算出する。

4. 供給能力の分析

(1) 対象地域の概要

神石高原町は広島県の中東部に位置し、岡山県に接しており、面積は381.98km²の町である。令和3年3月現在、世帯数は3907世帯、人口は8670人、高齢化率は47.85%である。

(2) 分析用のデータ

以下では、町内に営業するタクシー事業者のうち、顧客の需要の規模がほぼ同様である五つの事業者を対象とし、それらの運行履歴データを用いる。データは2019年9月2日～9月30日の記録であり、「日付」「乗降車時刻」「乗降車地」「利用料金」などが記載されている。

以上の期間中の平日における一日当たりの顧客数が町内全体で最小、最大、平均的であった日、さらに、顧客数がこれらの範囲内にあった2日を加えて合計5日のデータを用いる。それぞれの顧客数が少ない順で並べると、81,94,106,118,129人である。

(3) 供給能力の評価

運転手の勤務時間を 8 時間/日、11 時から 14 時までの間に必ず 1 時間の休憩をとることとする。五つのタクシー事業者を A,B,C,D,E で記す。それぞれの事業者の運転手の人数は 4,4,4,3,2 人である。

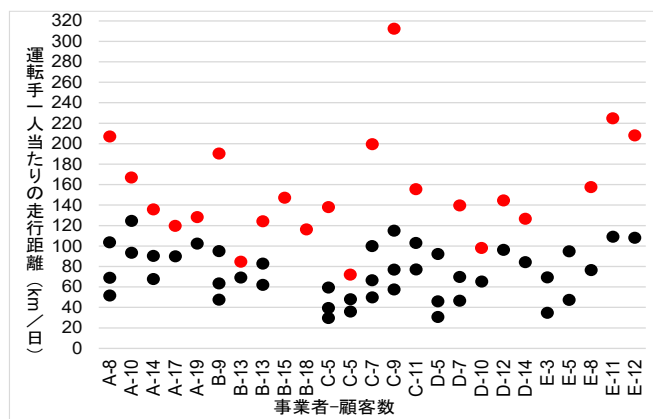


図-1 供給能力（調整時間：0分）

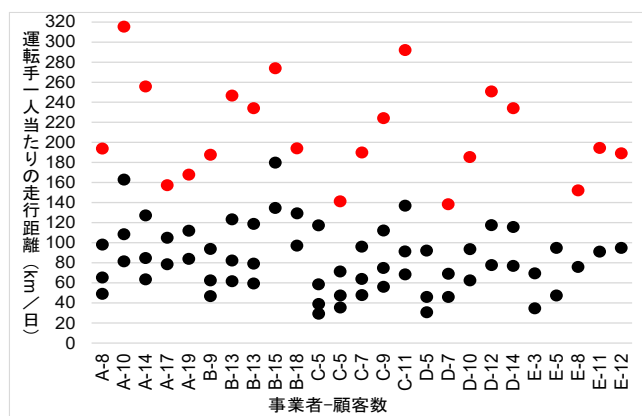


図-2 供給能力（調整時間：30分）

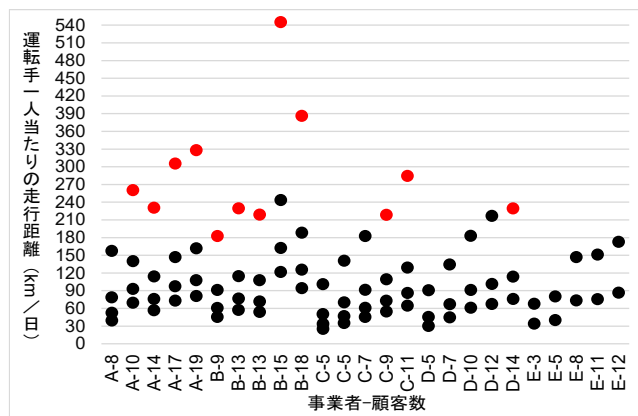


図-3 供給能力（調整時間：60分）

調整時間 ε を0分, 30分, 60分の3パターンとし, それぞれのもとでの供給能力を求めた. ただし, ここでは供給能力を運転手一人当たりの走行距離として算出した. また, 車両の移動速度を40(km/時)と設定した. 結果を図-1,2,3に示す. 縦軸のアルファベットと数字は, それぞれ事業者の区分と一日当たりの顧客数を表しており, 黒い(赤い)プロットはそれぞれ, 想定したすべての顧客を運送できる(できない)ことを表している.

すべての顧客を運送できないほど運転手が不足する場合は, モデルの解がそもそも存在しない. この場合における走行距離を求めるため, 現実には実行不可能であるものの解が存在する状況をあえて想定し, そのもとでの解に基づいて「運転手が不足する場合の走行距離」を求めた. 具体的には, 車両の速度が高い場合には少ない人数でもすべての顧客を運送することから, 車両の速度を段階的に上げ, 解が導出できた場合での走行距離を求めた.

図-1より, 調整時間 ε が0分, すなわち予約を調整しない場合, 運転手一人当たりの走行距離が約100(km/日)を超えると, 運送できなくなる. すなわち, 供給能力は約100(km/日)である. 同様に, 図-2, 3より, 調整時間が30, 60分であれば供給能力は約140(km/日), 200(km/日)前後となり, 供給能力は大きく改善できる.

また, 図-1, 2に比べて図-3では, 赤いプロットが消失して黒いプロットになっている場合が多く存在する. これは, 調整時間を大きくすることで, 少ない運転手の人数でもすべての顧客を運送できるケースが多くなったことを示している.

以上のように, 予約の調整は供給能力を大きく改善するとともに, 限られた人的資源を効率的に活用することを可能にする方策であることが実証的に明らかになった.

5. おわりに

他地域を対象とした分析を進め, 調整時間と供給能力に関する一般的な関係を特定することが今後の課題である.

参考文献

- 1) 土屋哲, 谷本圭志: 過疎地域のタクシー事業者による付随的サービスの供給可能性に関する概略分析, 交通工学論文集, 第3巻2号, pp. A_280-A_286.
- 2) 谷本圭志, 小澤陽: タクシーを活用した貨客混載システムの導入可能性の評価に関する基礎的手法の構築, 都市計画論文集, 第54巻3号, pp. 665-671.