

## 包絡分析法を用いた乗合タクシーの運用方法の決定に関する研究

鳥取大学 学生会員 ○山本 雄大  
 鳥取大学 正会員 谷本 圭志  
 鳥取大学 正会員 長曾我部 まどか

## 1. はじめに

近年では、路線バスの利用者の減少に伴い、乗合タクシーを導入する自治体が多く見られる。乗合タクシーは走行距離の減少という事業者にとっての利点がある一方、利用者にとっては目的地までの所要時間が長くなる、希望する時刻に必ずしも乗車できないなどの不便が生じる。

このため、事業者は自身の利点を損なわずに利用者の不便をどれほど許容した運用とするのかを適切に決定しなければならない。しかし、これらはトレードオフの関係にあるため、その決定は容易ではない。

そこで本研究では、乗合タクシーの運行を再現する数理モデルと包絡分析法を組み合わせることで運用の効率性を評価し、その結果を踏まえて適切な運用を見出す手法を構築する。その上で、この手法を実際の地域に適用し、その有効性を確認する。

## 2. 本研究の考え方

## (1) 運用方法の定義

乗合タクシーは、乗り合うことで事業者に利点が生じる反面、利用者には不便を強いることになる。事業者の利点は走行距離の短縮が考えられる。利用者の不便については乗り合うことで生じる2つの事象に着目することができる。

1つ目は、利用者が乗車地から目的地へ直接向かった場合の所要時間に比べて、他の利用者の乗降車地を経由することで、どれだけ所要時間が増加するかである。(以後、「所要時間の増加」と言う)。2つ目は利用者が乗車を希望する時刻からどれだけ乖離するか(以後、「希望時刻からの乖離」と言う)である。

これら2つの時間が大きいほど利用者の不便は大きい。そのため、事業者はこれらの時間をいわずに大きくすることはできない。このため、これらの時間に上限を定め、この上限以下の範囲内で乗合タクシーを運用すると考えられる。以下では、これらの時間の上限そのものを運用方法と言い、その設定を運用方法の決定と言う。

## (2) 運用方法の決定のアプローチ

まずは、既存の数理計画モデルを活用して、異なる運用方法を設定した場合のもとの乗合タクシーの運行を再現する。タクシーの運行という生産活動は、その活動への入力(例えば、走行距離や利用者が被る

時間的な不便)と出力(タクシーの実車距離など)に区分でき、数理計画モデルでは効率性の評価に必要な入出力項目のうちモデルでないと把握できない項目を導出する。

数理計画モデルで求められた生産活動の入出力の結果をデータとして、候補となる運用方法のもとの効率性を評価する。その手法には包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)を用いる。この手法によって導出された効率性は効率値と呼ばれ、効率値が大きいほど望ましい。

したがって、数理計画モデルを用いて候補となっている運用方法について入出力項目を求めた上で、包絡分析法によって最も効率値が高い運用方法を見出すことで、運用方法を決定することができる。

## (3) 包絡分析法の概要

包絡分析法は、複数の事業者の生産活動を投入した資源から利益を産出する活動と捉え、この変換過程の効率性を相対評価する手法である。DEAでは生産活動における投入を入力と表現し、資源や労働力など投入する項目を入力項目と表現する。同様に、産出を出力、利益や売上高を出力項目と表現する。本研究で扱う乗合タクシーの生産活動では、表1に示す入出力項目になる。

表1 乗合タクシーの入出力項目

	入力 (費用)	出力 (便益)
一般的な事業者	原料費, 人件費	売上高
乗合タクシー (本研究)	走行距離, 所要時間の増加, 希望時刻からの乖離	実車距離

## 3. 数理計画モデルの概要

任意の一日における乗合タクシーの運行を再現するモデルを示す。ある日に運送する利用者数は $n$ 人であるとし、任意の運転手を $k(1 \leq k \leq m)$ で表す。任意の利用者を $i$ とし、このもとで、利用者の乗車を $1 \leq i \leq n$ とし、降車を $n+1 \leq i \leq 2n$ とする。以後、任意の $i(1 \leq i \leq 2n+2)$ を一括して「作業」と呼ぶ。

任意の運転手 $k$ 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 $x_{ijk}$ で表し、次式で表す。なお、 $i \rightarrow j$ は作業 $i$ を終えた直後に作業 $j$ を行うことを

キーワード 乗合タクシー, 運用方法, 包絡分析法

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

意味する.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & (i \rightarrow j \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1)$$

利用者が希望する乗車時刻を $d_i$ で表す. 希望時刻からの乖離は $\varepsilon$ 以内に収めなければならない. ただし,  $\varepsilon$ と $d_i$ は定数である. この制約は次式で表される.

$$0 \leq t_i - d_i \leq \varepsilon_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (2)$$

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon \quad (1 \leq i \leq n) \quad (3)$$

所要時間の増加は $\lambda$ 以内でなければならない. ただし,  $\lambda$ は定数である. この制約は次式で表される.

$$t_{n+i} - t_i \leq d_{n+i} - d_i + \lambda_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (4)$$

$$\lambda_i \leq \lambda \quad (1 \leq i \leq n) \quad (5)$$

目的関数は次式で表される. ここで, 任意の作業 $i$ から $j$ への移動に要する走行距離を $L_{ij}$ で表す. 事業者は走行距離を最小化する. ただし, 目的関数が走行距離のみの場合, 利用者ごとの希望時刻の乖離や所要時間の増加を求めることができない. これらは利用者の不便であり, 適切に求める必要がある. これは, 利用者ごとの希望時刻からの乖離や所要時間の増加を目的関数に含めることで解消できる. ただし,  $w_1, w_2 (> 0)$ は重みであり, 走行距離の最小化が優先されるように設定される.

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{2n+2} \sum_{j=1}^{2n+2} L_{ij} x_{ijk} + w_1 \sum_{i=1}^n \varepsilon_i + w_2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \rightarrow \min \quad (6)$$

数理計画モデルはその他の式からも構成されるが, 紙面の都合上, 割愛する.

#### 4. 運用方法の決定に関する実証分析

##### (1) 実証分析の概要

実証分析では鳥取県琴浦町を対象地域として, 現在の一般タクシーと路線バスを乗合タクシーで代替する場面を想定する. 数理計画モデルの計算には顧客のODや移動時刻に関するデータを必要とするが, これらは一般タクシーの運行履歴データならびに路線バスの乗降実態調査データから求める. 図1に運行日ごとの利用者数を示す.

運用方法として, 希望時刻からの乖離 $\varepsilon$ は10, 20, 30分の3パターン, 所要時間の増加 $\lambda$ は5, 10, 15分の3パターンを設定する. したがって, 運用方法は $3 \times 3$ の合計9パターン設定する. 計算の対象となる日は9日

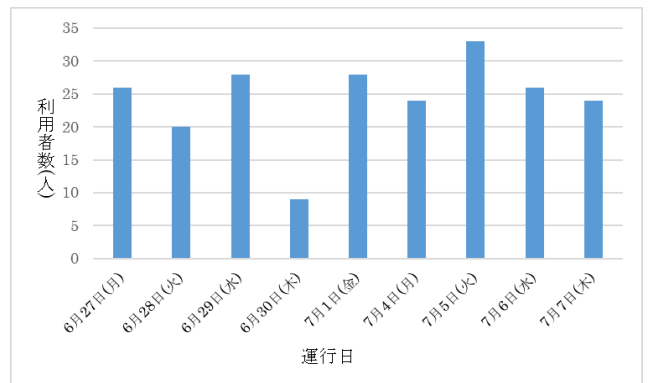


図1 対象期間における利用者数

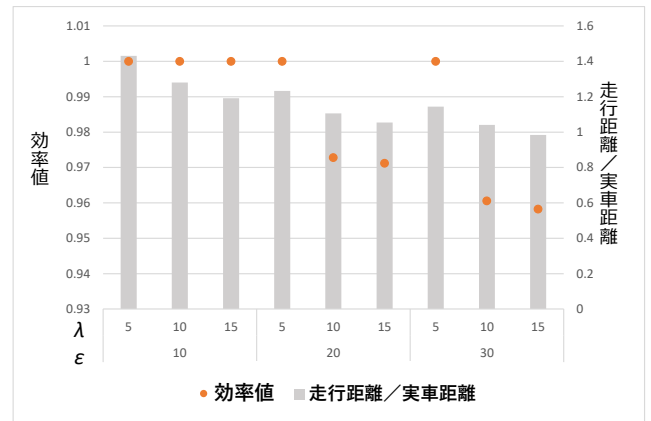


図2 効率値と走行距離/実車距離

であり, タクシーの運転手は2人である.

##### (2) 分析結果

分析結果を図2に示す. なお, 包絡分析法はBCCモデル(Banker-Charnes-Cooper)を用いた. この結果は, 計算の対象である9日に関して, 効率値ならびに走行距離/実車距離の平均を計算したものである. なお, 効率値は包絡分析法で評価した結果として0~1の値で示され, 値が大きいほど効率的である.

この図より効率値が最大である1をとる運用方法は $(\lambda, \varepsilon) = (5, 10), (10, 10), (15, 10), (5, 20), (5, 30)$ と多い. そこで, この中からより適切な運用方法を絞り込む. 事業者は効率値が同じであれば, なるべく走行距離が小さい方がよい. ただし, 走行距離は実車距離によって大きさがばらつくため, 実車距離で基準化した走行距離, すなわち, 走行距離/実車距離が小さい方が望ましいとする. すると, 効率値が1の中で走行距離/実車距離が最小である運用方法を見出すと $(\lambda, \varepsilon) = (5, 30)$ が得られる. したがって, この運用方法が適切な運用方法である.

##### 5. おわりに

本研究では, 数理計画モデルと包絡分析法を組み合わせ運用方法を決定する手法を構築した. 紙面の都合上, 記載を略したが, 運用方法と走行距離には関係がある. これらの関係を特定することで, より一般的に適切な運用方法を求めることができる.