

運転手の人数に着目した中山間地域における乗合タクシーの優位性の評価

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

1. はじめに

中山間地域では公共交通の利用者数が少ないものの、高齢者のように自家用車を運転できない人々にとって公共交通を維持する必要がある。このような地域に適した公共交通としてタクシーがある。しかし、利用者の減少に加えて運転手も不足する傾向にあり、タクシー事業の持続可能性が危ぶまれている。運転手の不足を有効に解決する策として乗合タクシーの導入がある一方、利用者が減少し続けると乗合タクシーの必要性は低くなるため、一般と乗合タクシーのどちらが優位かは必ずしも自明ではない。

そこで本研究では、運行に必要な最低限の運転手の人数が少ないほど持続可能性に優れているという視点に基づき、乗合タクシーの優位性を評価する手法を提案する。具体的には、必要な最低限の運転手の人数を導出できる数理計画モデルを混合整数計画法により定式化するとともに、そのモデルで計算した結果を用いて推計した統計モデルで乗合タクシーの優位性を評価するアプローチを構築する。

2. モデルの定式化

乗客の運送、運転手の始業、終業をすべて作業という用語で表現する。すべての作業の集合を V で表す。任意の作業を i で表し、任意の一日に運送する乗客は n 人であるとする。このもとで、乗客の乗車を $N_1 = \{1, 2, \dots, n\}$ 、降車を $N_2 = \{n+1, n+2, \dots, 2n\}$ で表し、すべての乗客に関する作業を $N = N_1 \cup N_2$ とする。なお、 $i \in N_1$ と $n+i \in N_2$ は同一の乗客 i の乗車と降車を表しており、この意味で、 $i \in N_1$ は乗客を識別する番号でもある。このため、以下では、 i は乗客を識別する番号としても用いる。

乗客が希望する出発時刻と実際の出発時刻との差を「希望時刻からの乖離」と呼び、これを ε_i で表す。複数の乗客が乗り合うと乗客は目的地に直行できないこと

がある。直行できないことに伴って要する時間の増加を「所要時間の増加」と呼び、これを λ_i で表す。これらにはそれぞれ ε, λ という上限を設けてタクシーを運用する。以下ではこれらをまとめて「運用方法」と言う。任意の作業 i から作業 j への移動に要する時間を c_{ij} 、距離を L_{ij} で表す。タクシー事業者は、所与の運転手で走行距離を最小化するものとする。事業者は乗客の利便にも配慮する。具体的には、希望時刻からの乖離、所要時間の増加も最小化する。以上より目的関数を式(1)で表す。 $\omega_1, \omega_2 (\geq 0)$ は重みである。

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} L_{ij} x_{ij} + \omega_1 \sum_{i \in N_1} \lambda_i + \omega_2 \sum_{i \in N_1} \varepsilon_i \rightarrow \min \quad (1)$$

ただし、 x_{ij} は作業 i の次に作業 j を実施するか否かをバイナリ変数であり、次式で表される。ここで $i \rightarrow j$ は作業 i の次に作業 j を実施することを表す。

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

モデルはその他にも多くの式から構成されるが、紙面の都合上、詳細は割愛する。

3. 乗合タクシーの優位性の評価

1) ケーススタディエリアと分析データ

広島県神石高原町の三和地区を対象とする。三和地区に営業所があり、主に三和地区で営業しているタクシー事業者の2019年9月1日～21日の21日間における運行履歴から、計算に必要な顧客のODや移動時刻のデータを抽出する。

2) 数理計画モデルの設定

希望時刻からの乖離の上限は、 $\varepsilon = 5, 10, 15$ 分という

キーワード 乗合タクシー、中山間地域、優位性、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 公共システム研究室
TEL 0857-31-5310

三つの値を設定し、時間の増加の上限 λ についても $\lambda = 5, 10, 15$ 分を設定する. 一般のタクシーは $(\epsilon, \lambda) = (0, 0)$ の特殊な場合を加え、合計で10通りを対象として数理計画モデルを適用する.

3) 運行に必要な最低限の運転手の人数

上記の10通りのケースについて、すべての日について運行に必要な最低限の運転手の人数を数理計画モデルで計算した. 以下では最低限の運転手の人数をMND (minimum number of drivers)と略し、上限が (ϵ, λ) であるもとの乗合タクシーのそれを $MND^{st}(\epsilon, \lambda)$ 一般のタクシーのそれを $MND^{nt}(0, 0)$ で表す.

それぞれの日における一般のタクシーと乗合タクシーのMNDの差を図-1に示す. $MND^{st}(5, 5) < MND^{nt}(0, 0)$ となる日は21日間のうち9日間であり、乗合タクシーのMNDは一般のタクシーと比べて1~2人少ない. 同様に、 $MND^{st}(10, 10) < MND^{nt}(0, 0)$ となる日は21日間のうち11日間、 $MND^{st}(15, 15) < MND^{nt}(0, 0)$ となる日は21日間のうち13日間であり、これらの日では乗合タクシーのMNDは一般のタクシーと比べて1~3人少ない. これらの日は、乗合タクシーが優位である.

一方で、 $MND^{st}(\epsilon, \lambda) = MND^{nt}(0, 0)$ の場合は一般のタクシーで十分であり、乗合タクシーは優位ではない. 図-1における $(\epsilon, \lambda) = (5, 5), (10, 10), (15, 15)$ の場合に着目すると、そのような日は12 10 8日ある.

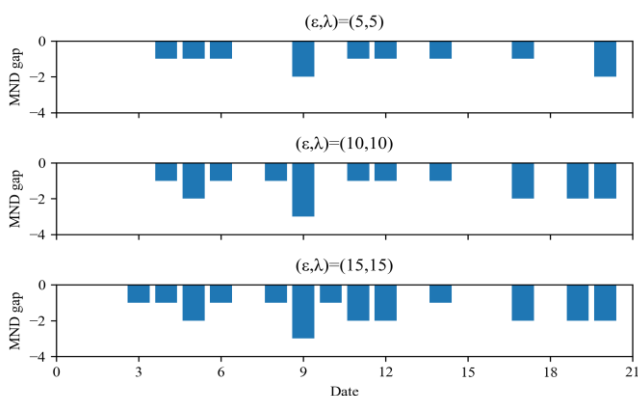


図-1 一般と乗合タクシーのMNDの差

4. 統計モデルによる乗合タクシーの優位性の評価

限られた日を対象として数理計画モデルで計算し、その結果をサンプルデータとして統計モデルを推計した上で、大量の計算をせずとも優位性を評価できるアプローチがある. そこで、現在は一般のタクシーで運行しているもとの乗合タクシーの優位性を評価する場面に着目して以下で議論する.

表-1 ロジスティック回帰モデルの推計結果

説明変数	回帰係数 (z 値)
切片	-1.218 (-1.448)
希望時刻からの乖離の上限(hour)	10.529 (3.814) **
所要時間の増加の上限 (hour)	6.304 (2.391) *
運転手一人当たりの実車距離 (km/人)	-0.186 (-5.937) **
乗客数 (人)	0.336 (6.480) **

Note *: p 値 ≤ 0.05 ; **: p 値 ≤ 0.01 ; AIC: 175.17

表-2 ロジスティック回帰モデルでの正解率と再現率
予測値

実際値	1	0	合計	再現率
1	81	18	99	81.8%
0	18	93	111	83.8%
合計	99	111	210	82.9% (正解率)

数理計画モデルによって、21日分、10通りの運用方法の合計210サンプルの計算結果が得られている. そこで、乗合タクシーのMNDが一般のタクシーのそれよりも小さい場合を1、そうでない場合を0とするバイナリ変数を被説明変数としたロジスティック回帰モデルを推計する. ロジスティック回帰モデルは式(3) (4)で表す.

$$Pr(y = 1|X) = \frac{1}{1 + \exp(-f(X))} \quad (3)$$

$$f(X) = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon + \alpha_2 \lambda + \alpha_3 p + \alpha_4 adist_D \quad (4)$$

ただし、 y は被説明変数、変数 p は一日の乗客数、 $adist_D$ は運転手一人当たりの実車距離、 $\alpha_0 \sim \alpha_4$ はパラメータであり、 X は説明変数のベクトルである. 被説明変数 y が1か0かは数理計画モデルで計算される変数、 ϵ と λ は数理計画モデルを計算する際に与える変数、 p と $adist_D$ は数理計画モデルに与えるデータから把握できる変数である. 推計した結果を表-1に示す. 切片を除いて、5%の水準でどの説明変数も統計的に有意である. 回帰モデルの正解率、再現率を表-2に示す. 正解率は82.9%、被説明変数が1の場合の再現率は81.8%、0の場合のそれは83.8%である. 妥当な結果を得ている.

以上より、 $f(X)$ が正の場合には一般のタクシーに比べて乗合タクシーのMNDが小さいと期待でき、乗合タクシーが優位と言える. 一方で、 $f(X)$ が負の場合は、乗合タクシーは優位ではない. したがって、評価の対象とする日に関して $f(X)$ を計算し、その値の正負を踏まえてどちらのタクシーが適切かが判断できる.