

# 地方における生活交通サービスの共存・競合に関するモデル分析

公共システム研究室 大森基紀

## 1. はじめに

中山間地域では利用者が少数かつ広範に分散していることから、従来の路線バス事業の成立が困難になっている。そこで、路線バスに代替する生活交通サービスの一つとして、需要対応型の交通サービス（DRT）がある。DRTの運行形態は多様であるが、需要が発生した際にのみ運行を行う点、自宅近くで乗客が乗り降りできる点でタクシーと類似している。このため、DRTとタクシーは競合関係にあると言える。しかし、DRTとタクシーが提供するサービスは厳密には異なり、双方のサービスの共存を求める地域は少なくない。そこで、本研究では、これら二つの生活交通サービスが導入されている状況を想定した上で、利用者の選択行動をモデル化し、安定的な状態がもたらされるのか、また、その状態においてタクシーとDRTの双方が成立しうるのかを、待ち行列および進化ゲームを用いて分析する。

## 2. 生活交通のモデル

$n$  個の集落から構成される、交通圏域が閉じた地域を考える。集落  $i$  の生活交通に対する単位時間当たりの需要（集落全体のトリップ数）の発生確率を  $d_i$  で表す。ただし、需要の発生はポアソン過程に従うとする。住民のすべての交通需要は地域の中心地へのトリップであるとする。また、中心地内の移動には生活交通は不要であるとする。住民は発生した需要をタクシーで満たすか、DRTで満たすかを選択する。前者を選択する確率を  $a_i$  ( $0 \leq a_i \leq 1$ )、後者のそれを  $1 - a_i$  で表す。住民がサービスを選択する際には、それぞれのコスト（=待ち時間）を参照するものとする。タクシーとDRTの運行経路を図1、図2に図示する。

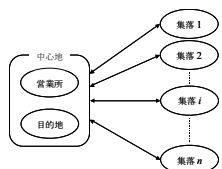


図1 タクシーの運行経路

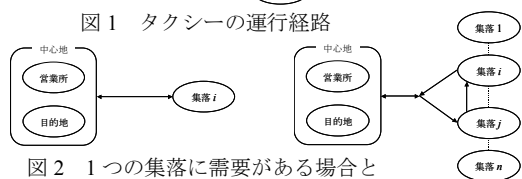


図2 1つの集落に需要がある場合と複数集落に需要がある場合のDRTの運行経路

## 3. タクシーのコスト

タクシーサービスをM/M/1の待ち行列モデルとして記述する。集落  $i$  の住民がサービスを受けたいときに、同じ集落内または、他集落に同じ様にサービスを受けたい住民が存在する場合、サービス供給開始時刻が不確定である。住民からのタクシーの配車の到着率  $P$  は集落  $i$  におけるタクシーの需要の到着率  $p_i (=d_i a_i)$  を用いて次式で表される。

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

タクシーが単位時間当たりに処理できる客の数、すなわちサービス率  $q$  は、集落  $i$  の住人がタクシーを占有している時間をすべての集落について加え、その逆数をとることで次式のように得られる。

$$q = \left( \sum_{i=1}^n 2t_{0i} p_i \right)^{-1} \quad (2)$$

(1)式に示す到着率、(2)式に示すサービス率より、集落  $i$  における住民のタクシーの待ち時間  $W_i^{taxi}$  はリトルの公式を用いて次式のように表される。ただし  $\rho$  は利用率 ( $=P/q$ ) である。

$$W_i^{taxi} = \frac{\rho^2}{P(1-\rho)} = \frac{\rho}{q(1-\rho)} \quad (3)$$

タクシーの待ち時間は自らの集落のタクシーの選択確率のみならず、他集落の住民のタクシーの選択確率にも影響され、各々の確率に対して単調増加である。この関係を図示したのが図3である。 $W_i^{taxi}$  は  $a_i$  について右上がりの曲線となっている。また、 $a_j$  ( $\forall j \neq i$ ) を1単位増加させたときのタクシーの待ち時間を  $W_i^{taxi'}$  とすると、 $a_j$  が大きくなると  $W_i^{taxi}$  は  $W_i^{taxi'}$  にシフトする。

## 4. DRTのコスト

住民が自らのトリップを満たすためにDRTを利用するような場面において、需要の発生確率は一般に、客の到着がポアソン到着のとき、到着時間分布は指数分布関数に従う。つまり、集落  $i$  においてDRTの需要が発生する確率を  $\pi_i$  とすると、 $\pi_i$  は次式で表される。

$$\pi_i = 1 - e^{-2d_i(1-a_i)T} \quad (4)$$

これは、DRTの需要の到着率が  $d_i(1-a_i)$  であるとき、需要が時刻  $2T$  までに発生する確率を表している。つまり、基準ダイヤからの乖離が前後で  $T$  以下のとき需要は発生し、 $T$  以上のとき需要は発生しない。

集落  $i$  の住民の DRT の待ち時間  $W_i^{DRT}$  は集落  $i$  以外の集落において需要が発生した場合の迂回時間として考えられる。したがって次式のように表される。ただし、 $\Delta t_j$  は集落  $j$  に需要が発生した場合に、基準ダイヤにおける所要時間に加えて必要となる付加的な所要時間を表す。

$$W_i^{DRT} = \sum_{j \neq i} \Delta t_j \pi_j \quad (5)$$

DRT の待ち時間は自らの集落の住民のタクシーの選択確率とは無関係であるが、他集落の住民のタクシーの選択確率に対しては単調減少である。この関係も図 3 に加えて図示している。 $W_i^{DRT}$  は  $a_i$  に関して定数関数となっている。また、 $a_j$  を 1 単位増加させたときの集落  $i$  の住民の DRT の待ち時間を  $W_i^{DRT'}$  とすると、 $a_j$  が増加すると  $W_i^{DRT}$  は  $W_i^{DRT'}$  にシフトする。

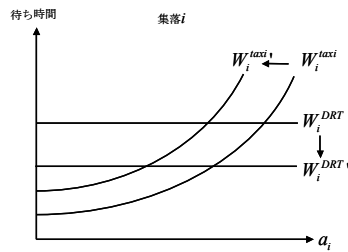


図 3 コストカーブの変化

### 5. 進化ゲームとナッシュ均衡

任意の集落の住民は、他集落の競合する住民の行動を予想し、タクシーと DRT のどちらかを選択する。その際、必ずコストが安価な方を選択するとは限らない。コストは参照することとどまり、時間変化と共に徐々に社会の戦略分布は均衡解へと収束していく。これは「慣性」、「近視眼」、「試行錯誤または実験」という 3 つの要素を持つ限定合理性に基づく選択行動と呼ばれる。特に「慣性」と「近視眼」のみによって人口の戦略分布が進化していくとき、そのダイナミクスをベスト・レスポンス・ダイナミクスと呼ぶ。

いま、集落  $i$  において、ゲームの初期値（集落  $i$  の戦略分布の初期状態）が図 2 の  $A < a_i^*$  のような  $A$  点であったとする。このとき、タクシーを利用する場合の待ち時間は  $A'$ 、DRT を利用する場合の待ち時間は  $W'$  となっている。これを比べると  $A' < W'$  であることがわかる。つまり、タクシーの方が待ち時間が少ない。そのためタクシーを選択する人口の割合が矢印のように増加する。一方、図 2 の  $B > a_i^*$  のような  $B$  点ではタクシーを利用する場合の待ち時間は  $B'$ 、DRT を利用する場合の待ち時間は  $W''$  になっている。これを比べると  $B' > W''$  であることがわかる。この場合、DRT を選択する人口の割合が増加する。集落内の戦略分布がどのような点から出発しても、タクシーを選択する戦略をとる

住民の比率は最終的には  $a_i^*$  に収束していく。これは集落  $i$  の集団の中でタクシーを選択する戦略をとる住民の安定的な比率であるといえる。このメカニズムは他集落においても同様である。図 3 に示すようなコストカーブの変化をとめないながら集落間で相互作用を及ぼしあい、徐々に収束する。

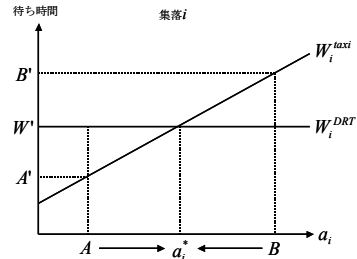


図 4 均衡解収束メカニズム

### 6. 数値計算例

ある地域における 2 集落を対象に数値計算を行った。利用したデータは同町において平成 17 年 10 月 21 日から 65 日間にわたって調査されたタクシーの乗降車データである。なお、DRT の待ち時間に関して、迂回時間  $\Delta t_j$  については迂回が生じる 1 集落ごとに 16 分とし、また、許容待ち時間  $T$  は 30 分とする。計算結果は表 1 のようになった。また、初期値と均衡点の関係を図 5 に図示する。

表 1 収束結果例

初期値	均衡点	
	$a_1$	$a_2$
0~0.808	1	0
0.809	0.545	0.809
0.81~1	0	1

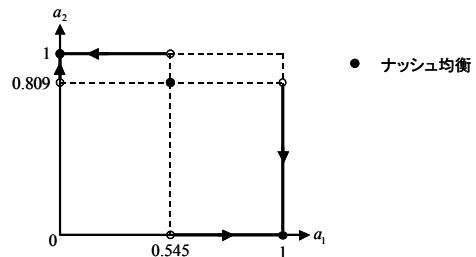


図 5 初期値と均衡点の関係

初期値が 0.809 のときだけが同一集落内に 2 つの生活交通が共存するケースとなった。それ以外の初期値を与えた場合については 1 つの集落に 1 つの交通機関が 100% の分担を担う結果となった。

### 7. おわりに

本研究では数値計算例において任意の 2 集落間のみを考え多集落間の均衡については言及していない。また、コストに関して待ち時間以外の要素（料金や移動のしやすさなど）も考慮することで採算面などのより深い考察が得られると考える。

