

過疎地におけるデマンド型交通システムについて

小柳 淳二 (鳥取大・工学部), 谷本 圭志 (鳥取大・工学部), 河合 一 (鳥取大・工学部)

1 はじめに

地方において、過疎地での交通手段としては自家用車が主なものとなるが、自家用車を運転できない高齢者などにとっては、バスやタクシーが交通手段となる。しかし、バス運行には費用がかかり、補助金などで赤字路線を維持している場合が多い。タクシーは便利であるが、利用者の負担が大きい。

このようなバスとタクシーの長所を兼ね備えた交通システムとして、デマンド型交通システムが各地の都道府県で採用されるようになってきた。デマンド型交通システムでは、タクシーのように利用者から予約を受けて車を運行するが、その際に可能な限り多数の利用者を同時にサービスするように計画する。車を運行する路線や時間がある程度決まっているものを路線バス型のデマンド交通システム、運行する路線や時間が決まっておらず、利用者の要求で車の運行路線を随時決めるものをタクシー型のデマンド交通システムと呼ぶことにする。

本研究では路線バス型のデマンド交通システムに対し、システムを効率的に運用するための方法と問題点について述べる。

2 路線バス型デマンド交通システム

路線バス型デマンド交通システムでは、通常の路線バスと同じように乗車場所と、時刻表が存在する。しかし、運行前に路線、時刻の予約を受け付け、その入った予約の範囲でバスを運行する。したがって、予約の入っていない乗車位置にはバスを運行する必要はなく、予約の入っていない時間にはバスを走らせる必要はない。このような形態でバスを運行することにより、乗車客は時刻表と運行路線に、しばられた行動をとることになるが、ばらばらの乗車時間をひとつの時間に集めることにより、タクシー型のデマンド交通システムより、1台の車に乗る乗客数が増えることが期待できる。どのような時間帯にバスを走らせるとよいかについては、様々な方法が考えられるが、「需要が確定的な場合」と「需要が確率的な場合」について、考えられる最適化の手法について本研究で述べる。

3 需要が確定的な場合

利用者に対してアンケートをとり、各利用者に利用したい時間帯、路線の調査を行ったとする。需要の形態としては、ある時間帯、ある路線にバスが走るなら利用するというデータを収集する。この場合、1つの需要を満たすには、複数の候補が考えられ、ある需要を満たすには、いずれかの候補のひとつが運行されていけばよいものとする。またバスに乗れる人数には十分な数があるものとする。 n 個の需要集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ に対して路線の候補となる m 個の路線を考え、 j 番目の路線でみたされる需要の集合を L_j であらわす。 L_j は集合 D の部分集合となる。ここで路線というのは、走行する時間と走行する地域 (バス停) の組合せであり、同じバス停を走っていても違う時間帯に走るならば、異なる路線と考える。

ここで a_{ij} を要素 d_i が L_j に含まれていれば、 $a_{ij} = 1$ 、含まれていなければ $a_{ij} = 0$ とする。運行コストは路線一本ごとにかかり、 j の路線には c_j のコストがかかるものとする。

集合被覆問題

全需要を満たす路線を構築したいが、そのコストを最小にしたい場合、集合被覆問題としての定式化が可能である。本問題は x_j ($j = 1, \dots, m$) を 0-1 変数として

$$\begin{aligned} & \min \sum_{j=1}^m c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ & x_j = 0, 1 \quad (j = 1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

と表現できる。ここで x_j は路線 j を運行するかどうか (L_j を被覆する集合として選択するかどうか) を示す変数であり、運行するなら $x_j = 1$ 、運行しないなら 0 の値をとる変数である。 $\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j$ は選択された部分集合で、 d_i がいくつの部分集合で被覆されたかを示す回数である。これがすべての i に対して 1 以上であれば、全要素が被覆されることとなる。それに対する全コストは $\sum_{j=1}^m c_j x_j$ であるので、これを最小化するように x_j を求めるのが目的となる。

実際には、全需要を満たすようにバスを走らせると、予算を超過することが多いと思われる。そこで、予算制限を加えた以下の問題（ここでは「集合部分被覆問題」と呼ぶ）を解くことが必要になる。

集合部分被覆問題

選択された集合に対するコストの和が B 以下という条件、および各要素が被覆される（需要が満たされる）ことによる報酬 r_i を導入する。集合被覆問題と同様に x_j ($j = 1, \dots, m$) を 0-1 変数として

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^n r_i \min\{1, \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j\} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^m c_j x_j \leq B \\ & x_j = 0, 1 \quad (j = 1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

を解くことにより、コスト制約のもとで、最大の報酬を持つ路線の構築が可能となる。上の式で $\min\{1, \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j\}$ は、要素 i が 1 回以上被覆されていれば 1 の値をとる関数となり、それに r_i をかけて加えることで、総報酬となる。上の定式化では直接現れないが、同じ総報酬に対して 2 つ以上の解があるならば、コスト $\sum_{j=1}^m c_j x_j$ の小さいほうが優れた解となる。

一般的にこのような組合せ問題では、高速に最適解を求めることが難しく、近似最適解を求めることが目的となる。集合被覆問題はよく知られた NP 困難問題であり、柳浦 [1] では、メタヒューリスティクスの手法による、集合被覆問題の近似最適解の探索法が紹介されているが、集合部分被覆問題はあまり研究されていないようで、同様の手法が適用できないか検討している。

4 需要が確率的な場合

本研究では、鳥取県内のある地域における、タクシーの運行データをもとに、デマンド型交通システム導入の効果について検討した結果を述べる。これは、岩井[2]の結果をもとにしたものである。

この地域では、交通需要が少なく、タクシーも一台しか運行しておらず、各時間帯の需要は 0 か 1 であらわされる。この地域の 3 ヶ月間のタクシー利用データ（約 500 件）から、通常のバスの時刻表にもとづき、月曜から金曜の平日、土日の 2 グループに対して、10 分きざみの時刻に対して各乗車、降車地域ごとの総需要数を集計し、月曜から金曜のデータの場合は 60（5 日・4 週間・3 ヶ月）、土日データの場合は 24（2 日・4 週間・3 ヶ月）で割った数を各時間、各乗降車地点間での基本需要確率とする。このような計算はタクシーが一台しかなく、各時間の需要が 0, 1 のため可能であり、タクシーが 2 台以上あれば、各時間の需要数は 1 を越えることもあり、一般的には需要分布にポアソン分布や、二項分布を考える必要があると思われる。このようにして得られた基本需要確率は低いものが多いが、他と比べて、ある程度大きな需要を持つ区間を取り上げると、以下の図で示されるバス停を持つ運行路線が候補となった。図では、バス停を作る候補地点に 1-6 の番号と、各地点を結ぶ道路を線分であらわしている。となりあった地点間は乗降時間をいれて、おおむね 10 分で運行可能である。このため、時間帯の区分間隔は 10 分間隔を用いて計算を行っている。

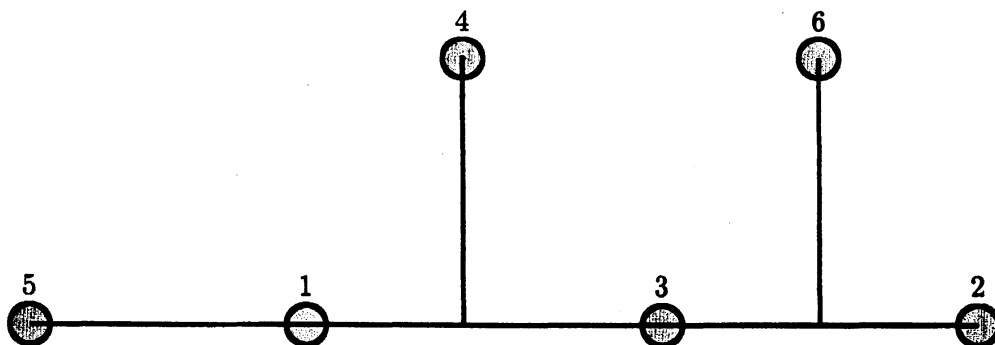


図 1: バス路線ネットワーク図

地点 1 は駅を中心としたこの地域の中心地であり、タクシーの利用は主に 1 が乗車地点で、2 から 6 が降車地点、あるいはその逆のパターンを持つ場合が多い。

4.1 路線の利用確率

バスを運行させた場合、その時間帯にタクシーを利用していた人以外に、前後の時間にタクシーを利用していた人もバスを利用することが考えられる。 n 番の時間帯にバスを運行するとすれば、 n 番目の時間帯にタクシーを利用していた人以外に、前後の時間帯、 $n-1$ 番目と $n+1$ 番目の時間帯にタクシーを利用していた人も n 番の時間帯のバスを利用することが予想される。前後の時間帯をどのぐらいまで拡張するか、希望していた時間とは少しずれた時間帯にバスを走らせることによる需要の減少をどの程度見込むか、などはバスの利用形態、利用者の目的などを分析する必要がある。

本研究では、前後 1 つの時間帯の需要がバスを走らせる時間に集まるものとし、前後の需要は互いに独立に発生するものとした。この仮定により、 $n-1, n, n+1$ 番目の時間帯のタクシー利用確率をそれぞれ p_{n-1}, p_n, p_{n+1} とすると、 n 番目の時間のバスの利用確率は

$$1 - (1 - p_{n-1})(1 - p_n)(1 - p_{n+1}) \quad (1)$$

となる。ただし、独立性の仮定が成り立つかどうかは、利用者の利用状況を本来調査しなければならない。

4.2 相乗りの頻度

需要が確率的な場合の定式化とその解法については、適切なものが見つからなかった。また、候補となる路線も少ないため、今回は、総当り法で前後の需要需要確率が高くなる経路と時間を探索した。結果としては 9:50 に 2 を出発し、 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 5$ (10:20 に 5 に着) の経路で運行する経路など、いくつかの路線候補が出たが、予約確率は 0.2 程度の低い確率となった。

需要確率以外に評価すべき指標としては、相乗り発生の頻度が考えられる。仮に現在のタクシーの需要を、タクシー型か路線バス型のデマンド交通システムですべて置き換えるとするならば、どちらの形式が有効かを計算するために、km あたりの運行原価を調べると、タクシー型では 140 円、バス型では 210 円ほどであった。よって、タクシー型を 2 回走らせるのを、バス型 1 回で需要がまかなえればバス型が有利と思われる。このため、一回の運行で満たされる需要の期待数を考える必要がある。運行経路（と時間）が決まっている場合、需要確率を導いたのと同様の条件の下では、

(1) 一件の予約で運行する確率

$$p_{n-1}(1 - p_n)(1 - p_{n+1}) + p_n(1 - p_{n-1})(1 - p_{n+1}) + p_{n+1}(1 - p_{n-1})(1 - p_n) \quad (2)$$

(2) 二件の予約で運行する確率

$$p_{n-1}p_n(1 - p_{n+1}) + p_{n-1}p_{n+1}(1 - p_n) + p_np_{n+1}(1 - p_{n-1}) \quad (3)$$

(3) 三件の予約で運行する確率

$$p_{n-1}p_np_{n+1} \quad (4)$$

で表されるため、1 回の運行で満たされる期待需要数を求めることができる。この値が 210/140 より大きければ、バス型で運用するほうがタクシー型より良いという目安になるが、上記の値では、別々の乗車区間で利用される場合も相乗りとみなされる。例えば、 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 5$ の場合 2 から 3 に乗った人と、1 から 5 に乗った人も同じバスに乗ったとみなされる。路線が長くなるほど、この場合が増えるために、比較の指標としては不適切になることが考えられる。

実際のデータで計算したところ、もともと交通需要が少ないために、相乗り頻度もあまりなく調査の対象とした地域では、バス型のデマンド交通システムより、タクシー型のほうがよさそうであった。しかし、調査データがタクシーの利用というデマンド交通システムを導入した場合より、高い利用料金であること、この地域で常駐しているタクシーが一台しかなかったことを考えると、調査データの集め方（住民に対して、利用料金も含めた交通需要調査）によっては、バス型の導入が望ましいとされる場合もあるかもしれない。

5 結論

交通需要の少ない地域におけるデマンド交通システムの導入について、考えられるいくつかの定式化と手法について述べた。定式化された問題に対する効率のよい解法、手法を適用するためのデータ収集法など今後の研究が必要である。

参考文献

- [1] 柳浦 睦憲, “離散最適化問題に対するメタヒューリスティクス”, 日本オペレーションズリサーチ学会第56回シンポジウム「ここまで使える数理計画法」, pp. 33-41, 2006.
- [2] 岩井 一哉, 小柳 淳二, 河合 一, “定時定路線型DRTの導入に関する研究”, 鳥取大学工学部社会開発システム工学科卒業研究, 2006.