

オンデマンドバスの最適経路設計 -犬山市を例として-

2020SS076 武山 祐斗

指導教員：佐々木 美裕

1 はじめに

現在, 多くの地域で地域交通の再生や活性化を向上させる独自のコミュニティバスを運行している. しかし, 利用者の減少や運行コストの上昇などの問題がある. 実際に, 犬山市のコミュニティバスアンケートでは, 運行本数が少ないことや到着の遅れ, 目的地までが遠回りであるという不満の声が多数挙げられている [1]. このような不満の声が利用者減少の大きな原因になっていると思われる. その解決方法の1つとしてオンデマンドバスの導入が挙げられる [2].

本研究では, バス停間の距離, 乗車希望者の出発地と目的地を所与として, オンデマンドバス1台の場合は最適経路を求める問題をモデル化し, 最適化ソフトウェアを用いて解を求める. オンデマンドバス複数台 (1台以上) のモデルの場合では, 近似解を求めるアルゴリズムを作成し, アルゴリズムを用いてプログラムを作成し解を求める.

2 モデルの説明

オンデマンドバスの最適経路設計では, 乗降客のいるバス停の集合を N とし, 与えられた需要の全てを満たし, バスの容量などの制約を考慮しつつ総移動距離の最小化を目的とした最適経路問題を定式化する. 図1の黄い枝と青い枝のようなオンデマンドバスの移動経路を求める問題となっている.

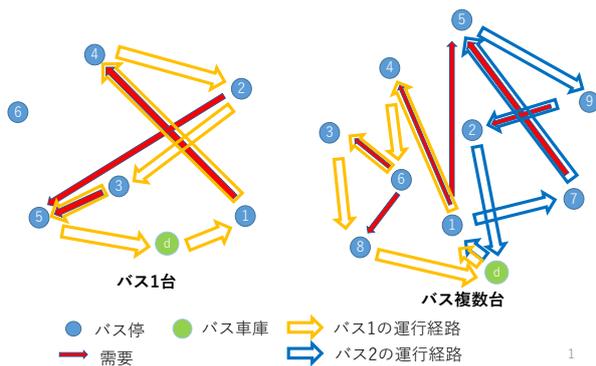


図1 オンデマンドバスの最適経路モデル

また, このモデルでは時間軸は考えないものとするので需要は同時に与えられるものとする.

3 バスが1台の場合

はじめに, 以下の記号を定義する.

N : バス停の集合.

n : バス停の個数.

C : バスの容量.

K : 需要の始点から終点までに行く間に通るバス停の数.

M : 十分に大きな値.

d_{ij} : バス停 $i \in N$ からバス停 $j \in N$ の距離.

l_i : バス停 $i \in N$ とバス車庫の距離.

a_{ij} : バス停 $i \in N$ で乗車バス停 $j \in N$ で降車する人がいるとき 1, それ以外 0.

e_i : バス停 $i \in I$ で乗車する人数.

f_i : バス停 $i \in I$ で降車する人数.

次に, 以下の変数を定義する.

x_{ij} : バス停 $i \in N$ からバス停 $j \in N$ に行くとき 1, それ以外 0.

z_{ij} : バス停 $i \in N$ はバス停 $j \in N$ より前に止まるとき 1, それ以外 0.

u_i : バス停 $i \in I$ に停車する順番.

g_i : バス車庫からバス停 $i \in N$ に行くとき 1, それ以外 0.

m_i : バス停 $i \in N$ からバス車庫に行くとき 1, それ以外 0.

オンデマンドバスの最適経路設計は以下のように定式化できる.

$$\min. \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in N} l_i g_i + \sum_{i \in N} l_i m_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in N} x_{ij} \leq 1, \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \leq 1, \quad j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} = n - 1, \quad (4)$$

$$u_i + 1 - M(1 - x_{ij}) \leq u_j, \quad i, j \in N \quad (5)$$

$$1 \leq u_i \leq n, \quad i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{j \in N} (e_j - f_j) z_{ij} + (e_i - f_i) \leq C, \quad i \in N \quad (7)$$

$$a_{ij}(u_j - u_i - 1) \leq K, \quad i, j \in N \quad (8)$$

$$u_j - u_i \leq M z_{ij}, \quad i, j \in N \quad (9)$$

$$M z_{ij} \leq M - (u_i - u_j), \quad i, j \in N \quad (10)$$

$$a_{ij} u_i \leq u_j, \quad i, j \in N \quad (11)$$

$$g_i M \leq M - (u_i - 1), \quad i \in N \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} g_i = 1, \quad (13)$$

$$m_i n \leq u_i, \quad i \in N \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} m_i = 1, \quad (15)$$

$$x_{ij}, z_{ij}, a_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in N \quad (16)$$

$$g_i, m_i \in \{0, 1\}, \quad i \in N \quad (17)$$

$$u_i \in \mathbb{Z}, \quad i \in N \quad (18)$$

4 バスが複数台の場合

アルゴリズムを以下に示す。

ステップ 1 需要の始点終点とデポを繋いだ巡回路を需要の数だけ作成し、初期解とする ステップ 2 へ。

ステップ 2 巡回路どうしの走行距離の減少分

$S_{ij}=d_{i0}+d_{0j}-d_{ij}$ を計算し、降順に並べる ステップ 3 へ。巡回路が 1 つの場合、 S_{ij} の 1 番大きい値が 0 以下の場合 は終了。

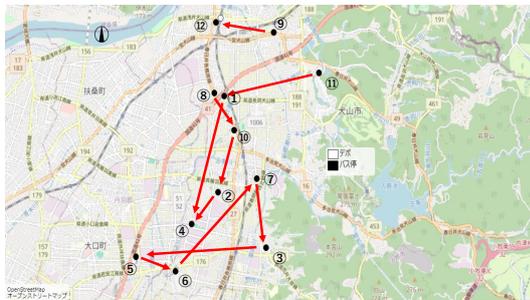
ステップ 3 S_{ij} が最大の巡回路のペアを繋げたときバスの容量を満たすか調べる。満たしていれば ステップ 4 へ。満たしていなければ S_{ij} を削除し、次に S_{ij} が大きい巡回路のペアについて同様の操作を行う。

ステップ 4 巡回路どうし繋いで新たな巡回路を作成する。このとき 2 つの巡回路を繋げてできる複数の巡回路のうち需要を満たしている最短の巡回路を見つける。見つけれない場合は ステップ 5 へ、見つけれない場合は現在の巡回路ペアと S_{ij} を削除し ステップ 3 へ。

ステップ 5 巡回路の距離の合計 (バスの総移動距離) を計算し、それが巡回路を作成する前のバスの総移動距離よりも短くなれば ステップ 2 へ、そうでなければ巡回路を作成する前の巡回路を保持し終了。

4.1 実行結果

実際の一日の各バス停の乗降人数のデータを入手することができなかつたため、病院などの施設と高齢者の人口が多い場所にあるバス停をもとにデータを作成した [3]。



(a) バス停と需要の図

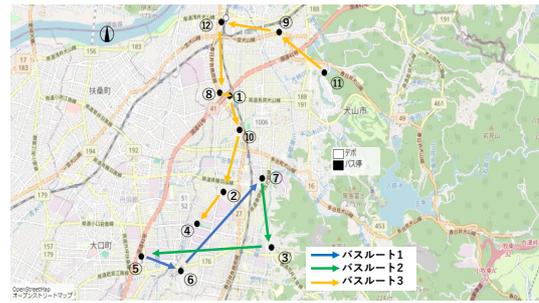
需要	乗降人数	需要	乗降人数
2 → 4	3	11 → 1	4
3 → 5	4	1 → 4	2
6 → 7	3	5 → 6	3
8 → 10	5	7 → 3	7
9 → 12	6	10 → 2	5

(b) 容量と乗降人数の表

図 2 テストデータ

python を用いてアルゴリズムを実装し、バスの容量を 33 として図 2 のテストデータをもとに $K=1, 2, 3, 4$ の 4 通りの場合で実験を行った。そのうち $K=3$ のときの結果

を図 3 に示す。



(a) バスの経路図

K	3
バスルート 1	5 → 6 → 7
バスルート 2	7 → 3 → 5
バスルート 3	11 → 9 → 12 → 8 → 1 → 10 → 2 → 4
バスの総移動距離 (m)	56400
バスの必要台数 (台)	3

(b) 結果の値

図 3 $K=3$ のときの結果

$K=1$ から順番に実験を行った結果、 $K=4$ のときに移動時間が既存のコミュニティバスの方が短くなるという需要があった。 $K=1, 2, 3$ のときは全ての需要でオンデマンドバスの方が需要を満たすまでにかかる時間が短くなるという結果であった。 また、既存のコミュニティバスとオンデマンドバスの移動時間の差の合計を計算したところ、最も値が大きかったのは $K=3$ のときである。 さらに、バスの総移動距離が短かったのも $K=3$ のときである。

4.2 まとめ

適切なデータ設定により、オンデマンドバスを用いたバス経路を作成することができた。 移動時間の差の合計が $K=3$ のときに最も大きいのは、 K の値が距離ではなくバス停の個数であることが原因であると考えられる。 このデータでは、コミュニティバスの利用者減少の原因を解決できたと言える。

参考文献

- [1] 【ワン丸君バス】車内アンケート調査結果. <https://www.city.inuyama.aichi.jp/kurashi/bus/1008859.html>. 2023 年 6 月 15 日閲覧.
- [2] オンデマンドバス、デマンド交通のデメリット・課題を解決するには. <https://moqul.net/column/944>. 2023 年 6 月 15 日閲覧.
- [3] 路線図・時間表. <https://www.city.inuyama.aichi.jp/kurashi/bus/1004244/1000010.html>. 2023 年 8 月 5 日閲覧.