

## 社会コストに着目した拠点と路線配置の同時最適化に関する研究

05001174 筑波大学 \*榎本 俊祐 ENOMOTO Shunsuke  
05000224 筑波大学 巖 先鏞 EOM Sunyong  
01205430 筑波大学 鈴木 勉 SUZUKI Tsutomu

## 1. はじめに

日本においては人口減少や高齢化といった背景により特に地方部において生活サービス施設の維持に関する課題が生じている。この課題に対して国土交通省では生活サービス施設の集約による「小さな拠点」と公共交通の整備による対策の取り組みが行われている。一方、現状において拠点と公共交通ネットワークの効率的整備の定量的評価を行う知見は十分とは言いがたい。

本研究では長谷川・鈴木[1]を参考としつつ、バスを想定した公共交通路線と拠点を同時配置し、総移動時間を最小化し、更に路線と拠点の維持コスト及び利用者の移動時間による時間価値損失の概念を導入することにより、それらの総和としての総社会コストを最小化する路線と拠点の配置を求める問題を解くことを試みることを目的とする。

## 2. 総社会コストを最小化する路線配置と拠点配置

本研究では、単純なモデルとして7×7直交格子の道路構造を想定したリンクとその交点にノードを配置するモデルを作成した。このモデル上においてノード間のリンクを通る移動距離 $d_{ij}$ をダイクストラ法により求め、 $d_{ij}$ を用いて以下のように定式化される $p$ -median問題により拠点を初期配置した。

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} P_i d_{ij} r_{ij} \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j \in N} r_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$r_{ij} \leq s_j \quad \forall i, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_j s_j = p \quad (4)$$

$$r_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$s_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (6)$$

$N$ : ノードの集合

$d_{ij}$ : ノード $i$ と $j$ 間の距離

$P_i$ : ノード $i$ の利用人口

$p$ : ハブとなるノード数

$r_{ij}$ : ノード $i$ の拠点 $j$ への割当を示すバイナリ変数

$s_j$ : 拠点ノード $j$ を示すバイナリ変数

路線本数 $q$ を与え、リンク上にランダムに配置し路線の初期配置を行う。そしてヒューリスティックアルゴリズムを用いて拠点と路線配置の最適化を行う。このアルゴリズムは初期配置の路線の全てについてそれぞれ未配置のリンク全てに置き換えを行い、各ノードから拠点までの総移動時間の最も短い置き換え先を保存する。路線の入れ替えが発生しなくなった時点で、式(8)で求められる全てのノード間の移動時間 $t_{ij}$ を求める。なお、この時の経路は移動時間を最小化する経路となる。 $d_{ij}$ を $t_{ij}$ と置き換え、式(1)~(6)の $p$ -median問題を再び求解することで拠点を再び最適化し、この配置に変化があった場合にはその時点での路線配置を初期配置とした上で路線最適化を再び行い、路線と拠点の配置が変化しなくなるまで繰り返す。このアルゴリズムにより、総移動時間を最小化する路線配置及び拠点配置が求められる。

$$\min T_p^q = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} P_i t_{ij} r_{ij} \quad (7)$$

$$s.t. t_{ij} = d_{ij} \sum_{k \in E} \sum_{l \in E} u_{kl}^{ij} \{x_{kl}/v_b + y_{kl}/v_w\} \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} = q \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (10)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (11)$$

$$u_{kl}^{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, \forall (k,l) \in E \quad (12)$$

$E$ : リンクの集合

$T_p^q$ : 路線本数 $q$ 拠点数 $p$ の時の総移動時間(h)

$t_{ij}$ : ノード $i$ と $j$ 間の移動時間

$v_b$ : バスの速度(km/h)

$v_w$ : 徒歩の速度(km/h)

$x_{ij}$ : 路線配置リンク $ij$ を示すバイナリ変数

$y_{ij}$ : 路線未配置リンク $ij$ を示すバイナリ変数

$u_{kl}^{ij}$ :  $ij$ 間の移動経路を示すバイナリ変数

式(13)の通り示される路線長による事業者側のコストと総移動時間 $T_p^q$ と待ち時間を合わせた時間的損失による利用者側コストの合計である $C_p^q$ を求めた。

$$\min C_p^q = H_b B v_b c_b + \left( T_p^q + \sum_{i \in N} \frac{P_i f_b}{2} \right) f_u c_u \quad (13)$$

$$s, t B \geq \frac{\sum_{i \in L} \sum_{j \in L} x_{ij} d_{ij}}{f_b v_b} \quad (14)$$

$H_b$ :バスの1日の営業時間(h)

$B$ :車両台数

$c_b$ :走行キロ当たり費用(円/km)

$f_u$ :利用者の利用頻度

$c_u$ :利用者の時間価値(円/h)

$f_b$ :バスの運行頻度

上記の定式化に基づき、繰り返し計算によるヒューリスティックアルゴリズムで解を求めた。

### 3. 計算結果

この格子状都市モデルではリンク長を1kmとし、7km四方の正方形都市と仮定している。また、ノード毎の人口を2015年国勢調査の日本全国人口密度より340.8人とする。なお、様々な条件下における最適拠点・路線配置を求めるため、表1に示されるようにcase1~5の条件で計算を行った。図1は各caseにおいて社会的な費用が最小となる拠点数、路線長、拠点費用を表したものであり、図2は $p=1, 2$ の時の配置結果を示している。これらの計算により、時間価値の低い場合には総社会コストを最小化する路線長は短くなり、また路線長当たりコストが低い場合には予算制約上では拠点数が少ない場合が総社会コストを最小化することが分かった。

本研究は、JSPS 科研費 19H02374 および JSPS 科研費 19K15185 の支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

[1] 長谷川大輔, 鈴木勉 (2019) 路線網形状を考慮したバス・デマンド型交通併用効果の分析, GIS—理論と応用, 27(1), 1-11.

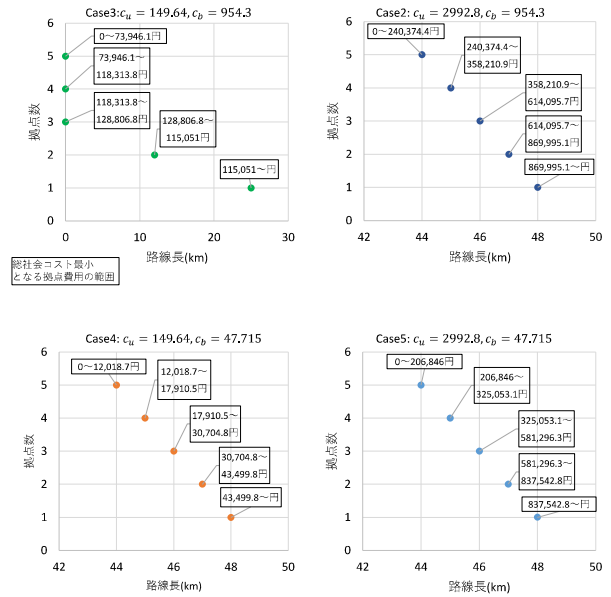


図1: 拠点費用別総社会コスト最小化 拠点数・路線長

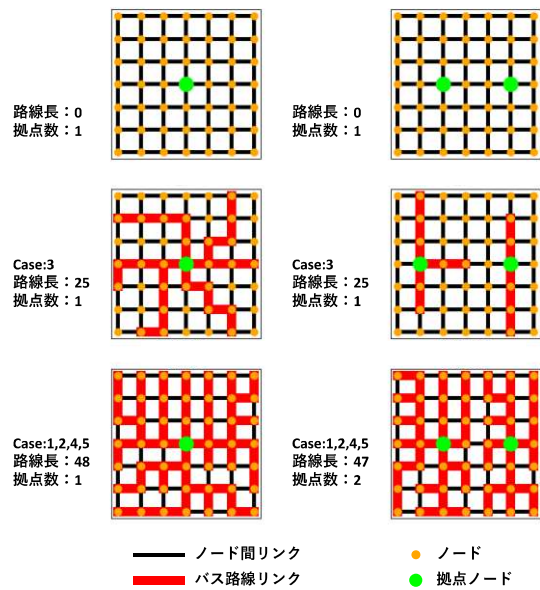


図2: 拠点数1,2のときの総社会コスト最小化路線

表1: 変数一覧

変数	概要	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
$p$	拠点数	1,2,...,5	1,2,...,5	1,2,...,5	1,2,...,5	1,2,...,5
$P$	ノードの利用人口	340.8	340.8	340.8	340.8	340.8
$c_b$	路線長当たり費用(円/km)	477.15	954.3	954.3	47.715	47.715
$v_b$	交通手段別速さ_バス(km/h)	15	15	15	15	15
$v_w$	交通手段別速さ_徒歩(km/h)	2	2	2	2	2
$H_b$	1日当たりのバスの運行時間(h)	12	12	12	12	12
$c_u$	利用者側の時間価値(円/h)	1496.4	2992.8	149.64	149.64	2992.8
$f_u$	1日当たりの利用回数(回)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29