

季節性による交通容量の変化を考慮した施設配置モデル

申請中 長岡工業高等専門学校 *菊池明飛 KIKUCHI Harutaka
5000412 法政大学 柿本陽平 KAKIMOTO Yohei
日本大学 大前佑斗 OMAE Yuto
長岡工業高等専門学校 酒井一樹 SAKAI Kazuki

1. 研究背景・目的

p-median などの既存の施設配置モデルでは移動距離が目的関数に組み込まれているため、移動距離が変化すれば最適配置が変化することが想定される。したがって、ある期間において移動距離が変化する場合、その期間においては最適な配置とは言えない可能性がある。例えば、新潟県などの積雪地帯では冬期において積雪の影響による路面状況の変化により交通容量が低下することがわかっている。後述するが、この交通容量の低下は距離の増加と解釈できる。つまり、積雪のある地域では夏期の地点間距離をもとにした p-median では最適な配置とならない可能性がある。本研究ではこのような季節性による交通容量の変化を考慮できるように p-median を拡張し、交通容量の低下前と後のどちらの距離を用いて施設配置問題を解くべきかについて検討する。

2. 夏期と冬期の信号交差点交通容量の変化についての調査結果

伊藤らの路面状況による信号交差点交通容量低下率に関する研究 [1] によると、夏期を基準とした冬期における交通容量の変化率は同一路面状態であれば、道路種別の異なる道路でもほぼ等しいと言われている。ただし、同一降雪条件下では道路管理者ごとの除雪水準の差や交通量の差により路面状況が異なる。交通容量とは道路上のある地点を1時間あたりに通過する最大の台数を表す。また、同研究によると除雪水準の高い直轄道路の路面状況はシャーベットとなり、その他補助国道、県道等に関しては圧雪の頻度が多いとのことである。これより、冬期における交通容量の変化率は道路種別に応じて推定可能であると言える。

3. 季節性を考慮した p-median の拡張

p-median は総移動距離の最小化を目的関数とした施設配置モデルである。施設数を p とし、需要

点 i の施設利用者数を P_i 、需要点 i と施設候補地 j との地点間距離を d_{ij} とする。施設候補点 i の施設配置の有無を表す Y_j と需要点 i の人が j の施設を利用するかどうかを表す X_{ij} が決定変数である。それぞれ 0-1 変数であり、1 のときに有、利用することを示す。目的関数と制約条件が以下となる。

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = \sum_{i,j} P_i d_{ij} X_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i, \\ & X_{ij} \leq Y_j, \quad \forall i, j, \\ & \sum_j Y_j = p, \\ & X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, \\ & Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j. \end{aligned}$$

このモデルを土台とし、季節性による路面状況の変化を取り入れて拡張する。まず、交通容量 (Q) とは交通量の極大値であり、そのときの交通密度と交通速度をそれぞれ臨界密度 (K)、臨界速度 (V) と呼ぶ。交通密度は特定の道路区間内における単位距離当たりの台数を表し、交通速度はある区間の走破に要する個別車両の走行時間の平均値でその区間長を除いたものである。臨界密度の時の台数を N とし、区間長を d とすれば、 $Q = KV = N/d \times V$ となる。ここで、塚田らの道路の交通容量における新しい設計法に関する検討 [2] より、信号交差点交通容量はその信号交差点を含むある区間の交通容量と等しいとしてよいことがわかっている。夏期、冬期での交通容量をそれぞれ Q_s 、 Q_w (s =summer, w =winter) とし、交通容量の変化率を c とすると、

$$Q_w = cQ_s = c \times \frac{N \times V}{d} = \frac{N \times V}{d/c}$$

が成り立つということである。したがって、分母を路面状況の重み付き距離と見れば、 d_{ij} を c_{ij} で除することで路面状況を交通容量に反映できる。

表 1: 目的関数値 v_{ij} の対応関係

	夏期の配置結果	冬期の配置結果
夏期の距離	v_{ss}	v_{sw}
冬期の距離	v_{ws}	v_{ww}

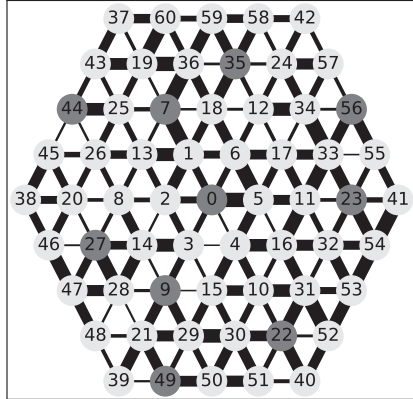


図 1: 用いた仮想ネットワーク

4. 仮想ネットワークでの検証

4.1. シミュレーションの内容

用いたネットワークの一例は図 1 であり、ノード数が 61、エッジの基本的な長さ（距離）は 100、三角格子状である。数字は各ノードの番号、色が濃いノードに施設が配置されることを示し、エッジが太いほど交通容量の低下率が大きいことを示す。このネットワークの施設利用者数の分布はクラークモデルを書き換えたものを用いている。 D_r を中心から距離 r だけ離れた地点の施設利用者数密度、施設利用者数の分布度合いを σ とすると、 $D_r = \exp(-r/\sigma)$ となる。また交通容量の変化のさせ方は、 c の値の範囲を $[c_{\min}, 1]$ として一様分布からランダムに割り当てる。そして、交通容量変化前（夏期）の配置結果の p-median の目的関数値 v_{ss} 、この時（夏期）の配置結果と交通容量変化後（冬期）の距離での目的関数値 v_{ws} 、交通容量変化後（冬期）の距離の配置結果の目的関数値 v_{ww} 、この時（冬期）の配置結果と交通容量変化前（夏期）の距離での目的関数値 v_{sw} をそれぞれ比較する。 v_{ij} は i の距離で j の配置結果での目的関数値を表し、その対応を表 1 に示す。 c_{\min} を 0.5, 0.2, 0.1 の 3 通り、 σ を 50 と 10,000 の 2 通りについて評価を行う。 c の値を変化させて 200 通りの組み合わせについてシミュレーションを行った結果を次項に示す。

表 2: シミュレーション結果

c_{\min}	σ	$\mu_{ws} - \mu_{ww}$	$\mu_{sw} - \mu_{ss}$
0.5	50	30,028	204
0.5	10,000	89,831	26,977
0.1	50	251,692	20,570
0.1	10,000	1,152,977	179,002

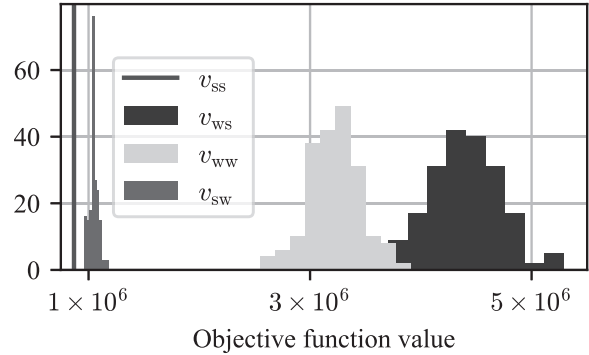


図 2: 仮想ネットワークでの施設配置

4.2. シミュレーション結果

結果の一部を表 2 と、 $c_{\min} = 0.1$ 、施設数 p が 10、 $\sigma = 10,000$ のときの目的関数値の分布を図 2 に示す。表 2 では v_{ss} の値を μ_{ss} とし、 v_{ij} 、 $\forall i, j \in \{s, w\}$ の平均値を μ_{ij} で表している。シミュレーションの結果は全て $\mu_{ws} - \mu_{ww} \gg \mu_{sw} - \mu_{ss}$ であり、これより交通容量変化後の距離を用いて p-median を解いたほうが夏期における効率性をあまり損なわずに冬期における効率性を著しく高めることができるということがわかった。

5. おわりに

p-median で交通容量が変化する場合における最適配置を検討した。p-median を効率性の最大化のモデルと考えると、交通容量変化後の距離を用いればより効率性が高まるということがわかった。一方で交通容量の変化は効率性だけでなく公平性など他の指標にも影響を及ぼす。公平性も考慮した施設配置モデルも検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 伊藤 潤, 大島 亮, 佐野 可寸志, 鳩山 紀一郎, “冬期路面状況による信号交差点の交通容量低下率に関する研究”, 交通工学論文集, 2019, 5 巻, 2 号, pp. B.34-B.41, 公開日 2019/02/06
- [2] 塚田幸広, 桐山孝晴, 保久原均, 濱谷健太, “道路の交通容量における新しい設計法に関する検討”, 国総研資料, 2006, 第 317 号