ショッピングモールにおける専門店の最適配置問題

2015SS053 大平 涼介
指導教員：佐々木 美裕

1　はじめに

現在, 多くのショッピングモール (以下, モールとする) ではカテゴリーごとに専門店が配置されておらず, 目的の店舗の場所を探すことが困難なことがある. モールの専門店街には多数の店舗があり, 一度に複数の店舗の商品を比較できるというメリットがあるが, 店舗間の距離が長いことや, 探すのに時間がかかることが多く, メリットがあまり活かせない. 齋藤 [1] は, コンビニエンスストアにおける効率的な商品の配置を, 商品の購入数で最適化を行った. 本研究では, 店舗ごとの利用者数だけでなく, 店舗のカテゴリーも考慮した問題を考える.

2　問題の説明

モールで買い物をする客は, 購入希望商品を販売している複数の店舗を巡回することが多い. 例えば, メンズ服の購入を希望する人はメンズ服を扱う店舗を中心に, アウトドア商品の購入を希望する人はスポーツ用品店などを中心に巡回すると考えられる. そこで, 販売する商品が類似している店舗や関連商品を扱う店舗をグループ化して店舗グループとし, 各店舗グループを訪問する客の人数を所与として, 客の総移動距離が最小となるような店舗の割り当てを求める. 前述したとおり, 客が効率よくモール内を巡回するためには, 店舗グループ内の店舗はなるべく近くに配置する方がよい. 一方で, モール経営者の視点から見ると, 客にモール内を歩き廻ってもらうことによって, 当初は購入を予定していなかった商品の衝動買いを誘発したいという目的がある. そこで, 店舗グループ内の店舗間の距離の総和を最大化するモデルも提案する.

3　定式化

3.1　記号の定義

総移動距離最小化モデルと店舗間距離最大化モデルの定式化において, 共通で使用する記号を次のように定義する.

T : 店舗の集合
P : 店舗ブースの集合
G : 店舗グループの集合
d_{kl} : 店舗ブース $k \in P$ と店舗ブース $l \in P$ の間の距離
n_g : 店舗グループ $g \in G$ で買い物を希望する人数

$$c_{gi} = \begin{cases} 1 : \text{店舗グループ } g \in G \text{ に店舗 } i \in T \text{ が含まれる.} \\ 0 : \text{上記以外.} \end{cases}$$

3.2　総移動距離最小化モデル

総移動距離最小化モデルの定式化で使用する記号を次のように定義する.

V_g : 店舗グループ $g \in G$ に含まれる店舗の集合

$$s_{gij} = \begin{cases} 1 : \text{店舗グループ } g \in G \text{ に店舗 } i \in T \text{ と} \\ \quad\ \text{店舗 } j \in T \text{ の両方を含む.} \\ \quad\ (c_{gi} = c_{gj} = 1 \text{ のとき}, s_{gij} = 1 \text{ である}) \\ 0 : \text{上記以外.} \end{cases}$$

変数を以下のように定義する.

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 : \text{店舗 } i \in T \text{ を店舗ブース } k \in P \text{ に割り当てる.} \\ 0 : \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$y_{gij} = \begin{cases} 1 : \text{店舗グループ } g \in G \text{ の巡回路において} \\ \quad\ \text{店舗 } i \in T \text{ から店舗 } j \in T \text{ へ移動する.} \\ 0 : \text{上記以外.} \end{cases}$$

z_{gij} : 店舗グループ $g \in G$ の巡回路における
　店舗 $i \in T$ から店舗 $j \in T$ の距離

これらの記号を用いて総移動距離最小化モデルを定式化すると以下の通りになる.

$$\text{min.} \sum_{g \in G} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T} n_g z_{gij} \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in T} x_{ik} = 1 \qquad (k \in P) \tag{2}$$

$$\sum_{k \in P} x_{ik} = 1 \qquad (i \in T) \tag{3}$$

$$\sum_{i \in T} s_{gij} y_{gij} \leq 1 \qquad (g \in G, j \in T) \tag{4}$$

$$\sum_{j \in T} s_{gij} y_{gij} \leq 1 \qquad (g \in G, i \in T) \tag{5}$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in T} s_{gij} y_{gij} = \sum_{i \in T} c_{gi} \qquad (g \in G) \tag{6}$$

$$\sum_{i \in S_g} \sum_{j \in S_g} y_{gij} \leq |S_g| - 1 \qquad (g \in G, S_g \subset V_g, |S_g| \geq 2) \tag{7}$$

$$z_{gij} \geq d_{kl}(x_{ik} + x_{jl} + y_{gij} - 2) \qquad (g \in G, i \in T, j \in T, k \in P, l \in P) \tag{8}$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \qquad (i \in T, k \in P) \tag{9}$$

$$y_{gij} \in \{0, 1\} \qquad (g \in G, i \in T, j \in T) \tag{10}$$

$$z_{gij} \geq 0 \qquad (g \in G, i \in T, j \in T) \tag{11}$$

(1) は客の総移動距離の最小化が目的であることを示している. (2), (3) は店舗と店舗ブースはそれぞれ必ず

1 つずつ割り当てられることを示す制約である. (4), (5) は店舗グループごとで, 1 つの店舗に入る枝の数と出る枝の数はそれぞれ 1 以下であることを示す制約である. (6) は店舗グループごとで, 枝の数の合計は買い物をする店舗の数に等しいことを示す制約である. (7) は店舗グループごとの巡回路における, 部分巡回路排除制約である. (8) と目的 (1) により, z_{gij} は店舗グループ $g \in G$ における店舗 $i \in T$ と店舗 $j \in T$ の距離を表す. ただし, グループ $g \in G$ の巡回路において店舗 $i \in T$ から店舗 $j \in T$ に直接移動しない場合は, 非負制約と同じである. (9), (10) はバイナリ変数制約である. (11) は非負制約である.

3.3　店舗間距離最大化モデル

店舗間距離最大化モデルの定式化で使用する記号を次のように定義する.

$$x_{ik} = \begin{cases} 1: \text{店舗 } i \in T \text{ を店舗ブース } k \in P \text{ に割り当てる.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$y_{ijkl} = \begin{cases} 1: \text{店舗 } i \in T \text{ を店舗ブース } k \in P \text{ に,} \\ \quad \text{店舗 } j \in T \text{ を店舗ブース } l \in P \text{ に割り当てる.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

これらの記号を用いると, 店舗間距離最大化モデルは次のように定式化できる.

$$\text{max.} \sum_{g \in G} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T} \sum_{k \in P} \sum_{l \in P} n_g c_{gi} c_{gj} d_{kl} y_{ijkl} \tag{12}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in T} x_{ik} = 1 \qquad (k \in P) \tag{13}$$

$$\sum_{k \in P} x_{ik} = 1 \qquad (i \in T) \tag{14}$$

$$y_{ijkl} \leq \frac{x_{ik} + x_{jl}}{2} \qquad (i \in T, j \in T, k \in P, l \in P) \tag{15}$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \qquad (i \in T, k \in P) \tag{16}$$

$$y_{ijkl} \in \{0, 1\} \qquad (i \in T, j \in T, k \in P, l \in P) \tag{17}$$

(12) は店舗グループ内の店舗間の距離の総和の最大化が目的であることを示している. (13), (14) は店舗と店舗ブースはそれぞれ必ず 1 つずつ割り当てられることを示す制約である. (15) は店舗 $i \in T$ を店舗ブース $k \in P$ に, 店舗 $j \in T$ を店舗ブース $l \in P$ に割り当てる時に 1, それ以外は 0 をとる制約である. (16), (17) はバイナリ変数制約である.

4　計算結果と考察

Gurobi Optimizer 9.1.1 を用いて最適解を求めるプログラムを Python で作成した. 計算に使用した PC に搭載されたプロセッサは, Intel(R) Core(TM)i7-1065G7 CPU @ 1.30GHz 1.50GHz, メモリは 8.00GB である. A〜H の 8 つの店舗を 8 つの店舗ブースに割り当てる例題を作成した. 店舗グループを表 1 に示す. 総移動距離最小化モデルの結果は図 1, 店舗間距離最大化モデルの結果は図 2 となり, 店舗間距離最大化モデルの客の総移動距離は, 総移動距離最小化モデルの客の総移動距離の約 1.5 倍となった. 本研究では, 買い物客の視点と経営者の視点の 2 つのモデルを作成したが, 両方の視点を考慮した最適店舗配置を求めるモデルへと拡張することで, より現実的な問題を解くことができる. しかし, 店舗数を増やすと計算時間が長くなるので, モデルや解法の改良が必要である.

表 1　店舗グループ

	店舗	人数
店舗グループ 1	A, B, C	7
店舗グループ 2	D, E, F	5
店舗グループ 3	A, C, D, G	3
店舗グループ 4	B, E, F, H	4
店舗グループ 5	G, H	2

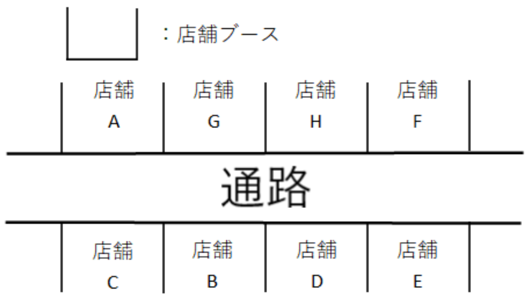

図 1　総移動距離最小化モデルの最適店舗配置

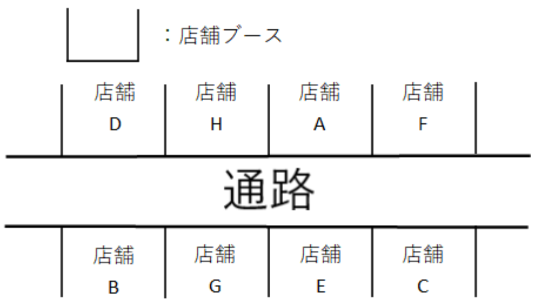

図 2　店舗間距離最大化モデルの最適店舗配置

参考文献

[1] 齋藤郁弥. コンビニエンスストアにおける効率的な商品の配置. 卒業論文, 南山大学理工学部システム数理学科, 2020.