キャンパスの OR
-ヤンセン国際寮部屋割り問題・電気料金見直し問題-

2020SS001 青井賀容子

指導教員：鈴木敦夫

1　はじめに

現在，日本では少子化が進み，大学の経営状況はますます厳しくなることが予想される．それを受けて，本研究室では従来，大学の負担を減らすためにいくつかのキャンパス内の問題を題材に研究をしてきた．キャンパス内の問題や作業の多くは，OR を応用することで効率的に解決できるにも関わらず，研究はあまり進んでいない．

実際に本研究室では，入試監督の割当問題 [1] を皮切りに，交流会館部屋割り問題・図書館における購入雑誌見直し問題 [2] や図書館の最適配置問題 [3] などを題材に，キャンパス内の作業を効率化してきた．本研究では，南山大学が現在直面しているヤンセン国際寮部屋割り問題と電気料金の見直し問題に OR の手法を適用して解を求める．

2　ヤンセン国際寮部屋割り問題

2.1　問題の背景と本研究の目的

ヤンセン国際寮は，南山大学の国際学生宿舎の 1 つである．管理運営を担当している国際センター事務室は，入寮する学生のために，学生のグループの割り当てに際して，次のような条件を考慮している．

- ユニバーサル寮室[*1]希望者はユニバーサル寮室を含むグループに割り当てる．
- 階毎に 1 人以上レジデントリーダー[*2]を務めることができる人がいる．
- 入居者の特性 (所属学科，学年，国籍) が多様になるようにする．

2.2　記号の定義と定式化

記号の定義

I ：新入居者の集合 ($i \in I$)
J ：グループの集合 ($j \in J$)
K ：継続入居者の集合 ($k \in K$)
T ：組み合わせの集合 ($t \in T$)
S ：階の集合 ($s \in S$)
c_{ij} ：新入居者 i をグループ j に割り当てるための仮に設定したコスト ($i \in I, j \in J$)

ただし，同じ組み合わせ t に属する継続入居者 k が 1 つのグループ j に割り当てられている場合は，c_{ij} を 1 だけ大きくする．

d_{kj} ：継続入居者 k がグループ j に属するかどうかを表す定数 (属するとき 1，それ以外のとき 0) ($k \in K, j \in J$)
e_{it} ：新入居者 i が組み合わせ t に属するかどうかを表す定数 (属するとき 1，それ以外のとき 0) ($i \in I, t \in T$)
f_{kt} ：継続入居者 k が組み合わせ t に属するかどうかを表す定数 (属するとき 1，それ以外のとき 0) ($k \in K, t \in T$)
g_j ：グループ j の許容構成人数 ($j \in J$)
h_{js} ：グループ j が s 階にあるとき 1，それ以外のとき 0 の定数 ($s \in S, j \in J$)
m_k ：継続入居者 k が日本人であるかどうかを表す定数 (日本人のとき 1，それ以外のとき 0)($k \in K$)
n_i ：新入居者 i が日本人であるかどうかを表す定数 (日本人のとき 1，それ以外のとき 0)($i \in I$)

変数の定義

x_{ij} ：新入居者 i がグループ j に割り当てられるかどうかを表す変数 ($i \in I, j \in J$)
y_{tj} ：1 つの組み合わせ t から同じグループ j に継続入居者の割り当てが行われた場合のペナルティを表す変数 ($t \in T, j \in J$)

目的関数

$$\min. \quad \sum_{i \in I}\sum_{j \in J} c_{ij}x_{ij} + \sum_{t \in T}\sum_{j \in J} y_{tj} \tag{1}$$

目的関数の説明

この問題を最小費用流問題として解く．目的関数は，総輸送費用と総ペナルティからなり，これを最小にすることが目的である．ただし，整数流定理により整数解が得られることが分かっている．

制約条件

新入居者はどこかのグループに割り当てられる．

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \qquad (i \in I) \tag{2}$$

各グループ j について，新入居者と継続入居者の合計は，そのグループの許容構成人数を超えてはいけない．

$$\sum_{i \in I} x_{ij} + \sum_{k \in K} d_{kj} \le g_j \qquad (j \in J) \tag{3}$$

組み合わせ t から同じグループ j へはできるだけ少ない人数が割り当てられるようにする．

$$\sum_{i \in I} e_{it}x_{ij} \le y_{tj} + 1 \qquad (j \in J, t \in T) \tag{4}$$

各階には，レジデントリーダーを担当することができる日本人が 1 人以上必要である．

$$\sum_{j \in J} h_{js}\Big(\sum_{k \in K} m_k d_{kj} + \sum_{i \in I} n_i x_{ij}\Big) \ge 1 \qquad (s \in S) \tag{5}$$

変数制約

$$0 \le x_{ij} \le 1 \qquad (i \in I, j \in J) \tag{6}$$

$$0 \le y_{tj} \qquad (t \in T, j \in J) \tag{7}$$

2.3　結果

Python 上のライブラリ Pulp を用いて，最適解を求めるプログラムを作成した．2023 年度に入居する学生のデータで計算した結果，男子では 6 グループ中 3 グループでそれぞれアメリカ人学生が 2 人割り当てられた．また，女子では 12 グループ中 2 グループでアメリカ人学生が 4 人と 5 人割り当てが行われた．しかし，このデータではアメリ

[*1] 車椅子利用可能な部屋．合計 2 室．
[*2] 寮全体を取り仕切る学生で，日本人学生のみ行うことができる．

カからの留学生が留学生の 6 割を占めているため，十分に上手く割り当てることができていると言える．また，計算時間は十分に短かった．

3 電気料金見直し問題

3.1 問題の背景と本研究の目的

現在，南山大学は中部電力と契約しており，以下のようなシステムによって電気料金が決定している．

- 契約電力*3を決め，それに応じて基本料金がかかる．
- 実際の電力使用量が契約電力を超えた場合，契約超過金*4が請求される．
- 契約電力に応じて，割引と予備電力料金が追加される．

このシステムをもとに，契約電力を可能な限り引き下げ，年間の総電気料金の引き下げを考える．電力使用量に予測には，Prophet とカーネル法を適用した Lasso 回帰を用いて以下の 3 つのモデルで行った．実際の予測に用いた平均気温は，Prophet を用いて外部変数なしで予測している．

1. Prophet 外部変数なし
2. Prophet 外部変数：年平均気温との差の絶対値
3. カーネル法を適用した Lasso 回帰 説明変数：平均気温

3.2 点推定による予測

前節で述べた方法により電力使用量を予測し，線形計画問題として定式化し Excel のソルバーでそれぞれ解を求めた．

記号の定義

I ：月の集合 ($i \in I$)
d_i ：i 月の消費電力 ($i \in I$)
p ：力率*5(100 パーセント)
r ：電力単価 (1kw あたり 1842.76 円)
t ：長期割引率 (5 パーセント)
w ：大口法人割引単価 (1kw あたり 356 円)
k ：継続割引率 (2 パーセント)
s ：予備電力単価 (1kw あたり 111.10 円)

変数の定義

x ：契約電力 (単位：kw)
y_i ：i 月の契約超過金 ($i \in I$)

定式化

$$\text{min.} \quad 12x\{r(1.85-p)(1-k-t)+s-w\}+\sum_{i\in I} y_i \tag{8}$$

$$\text{s.t.} \quad 1.5r(1.85-p)(d_i-x) \le y_i \qquad (i \in I) \tag{9}$$

$$0 \le x \;, \qquad 0 \le y_i \qquad (i \in I) \tag{10}$$

定式化の説明

目的は、「(年間の総電気料金) = (基本料金)+(契約超過金)−(割引)+(予備電力料金)」の最小化である．制約条件の左辺は，契約超過金の計算式である．そのため，左辺が正の時，y_i は契約超過金の値になり，負の時，y_i は 0 になる．

3.3 期待値を用いた予測

予測の頑健性を考え，超過料金の期待値を求め，それを用いて契約電力を決める．本研究では，電力使用量の分布を正規分布と仮定し，$f(x)$ として正規分布の確率密度関数を用いる．また，新たに変数を以下のように定義する．

E ：契約電力 (単位：kw)

この時，超過料金の期待値 d_i は以下のようになる．

$$d_i = 1.5r(1.85-p)\int_E^{\infty}(x-E)f(x)dx \tag{11}$$

最小化を考える関数は，「(12 ヶ月分の契約料金)−(割引) + (予備電力料金) + (各月の超過料金の期待値の和)」である．これより，定式化は以下のようになる．

$$\text{min.} \quad 12E\{r(1.85-p)(1-k-t)+s-w\}+\sum_{i\in I} d_i \tag{12}$$

$$\text{s.t.} \quad E \ge 0 \tag{13}$$

3.4 結果と考察

Excel のソルバーを用いて解を求め，2024 年度の最適契約電力の予測を行ったところ，点推定と期待値を用いた予測のそれぞれで表 1 と表 2 に示される結果を得た．表中の「差」は，Prophet で外部変数として「年平均気温との差」を用いた場合を示す．

表 1 2024 年度 点推定 結果

	外部変数なし	差	Lasso
最適契約電力量	1,330	1,218	1,327
予想電気料金	¥21,619,047	¥20,631,358	¥21,619,065

表 2 2024 年度 期待値 結果

	外部変数なし	差	Lasso
最適契約電力量	1,343	1,261	1,339
電気料金の期待値	¥23,313,955	¥22,064,804	¥22,021,952

また，2022 年 10 月から 2023 年 9 月の予測を行い，実績との比較を行うと約 100 万〜220 万円の電気料金が削減できている．予測方法のうち，外部変数なしで Prophet を用いるのが一番精度が良かった．気温の予測を夏冬で大きく外した場合は，気温が 5 度上下しても，年間電気料金の変動を約 1 割に抑えることができた．期待値による予測では，予測値の標準偏差が大きく，予測の精度が低いため，ブーストストラップ法で作成した 100 年分の電気使用量のサンプルデータで，予測電気料金の平均値，最大値，最小値を比較した．その結果，点推定と期待値を用いた場合の電気料金の差は 0.2% 前後であった．

参考文献

[1] 山本佳奈:『南山大学における入試監督社自動割当システムの作成』，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，2009，54(6)，pp.335-341

[2] 大久保仁詞，竹川浩司：『教育機関における OR-交流会感部屋割り問題・図書館における購入雑誌見直し問題-』，2005 年度南山大学数理情報学部卒業論文，2006

[3] Ohnishi, A., Koichi, S. and Suzuki, A., A MIP model to generate an optimal book relocation plan for improving the management of shelf occupancy - a case study at Nanzan University Library -, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 16, No.4(2022), JAMDSM0036

*3 年間通して一定であり，各月の電力使用量の基準となる．
*4 基本料金単価 (円) ×超過電力使用量 (kw) × 0.85 × 1.5 で求められる．
*5 供給電力のうち有効に働いた電力の割合