

学生研究室の引越しスケジュールリングについて

2008MI036 林実咲 2008MI140 水野友貴

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

1.1 背景

本研究では、南山大学数理情報学部（現：情報理工学部）の学生研究室における最適な引越しスケジュールリングについて考える。

数理情報学部では、毎年4月に新3年生が各研究室に配属される。このとき、前年度まで使用していた部屋に学生が入りきらず、別の部屋へと引越しをしなければいけない場合がある。この引越しスケジュールの作成を毎年学部教員が手作業で行っている。そこで、今まで手作業で行っていた引越しスケジュールの作成を自動化し、引越し作業の効率化を図ることを研究テーマとして扱うことにした。大学内のさまざま業務の改善にオペレーションズ・リサーチの手法が用いられているが[1]、学生研究室の引越しや割り当ての最適化に関する研究はほとんどない。

1.2 研究の概要

研究室の引越しを考える際、学生の移動と机の移動という2種類の移動が発生する。本研究では、第1段階で学生の移動を最適化し、第1段階で得られた結果をもとに第2段階で机の移動の最適化を行い、最適な引越しスケジュールを提案する。

2 モデルの説明

2.1 第1段階のモデル

第1段階では、研究室の引越しを行う際、どのように学生を部屋に割り当てればよいかを考える。

同じ研究室の学生はなるべく1つの部屋に割り当てられるのが好ましい。また、1つの部屋を複数の研究室で共有するときは、なるべく同じ領域の研究室で共有することが好ましい。数理情報学部情報システム数理学科には、オペレーションズ・リサーチ、システム工学、統計、数学の4つの領域があり、同学部情報通信学科は、通信とソフトウェアの2つの領域がある。

各部屋の定員に対し、定員を超える学生数、定員に満たない学生数の割合の総和をできるだけ小さくし、学生が各部屋に分散して割り当てられるようにしたい。新3年生は、研究室配属されるまでは、どこの部屋にも割り当てられていない。そこで、ダミー部屋を1室設け、引越し前の段階ですべての新3年生はダミー部屋に配置されているとし、引越し後はダミー部屋には誰も割り当てられないように各学生の引越し先を決める。

学生の引越し先となる部屋を選択する際の優先度を高い順に次のように定義する。

- (1) 同じ研究室の学生がいる部屋
- (2) 研究室は異なるが、同じ領域の研究室の学生がいる部屋

(3) 領域は異なるが、同じ学科の研究室の学生がいる部屋

(4) 同じ学年の研究室の学生がいる部屋

以上の優先度を考慮し、2つ以上の研究室が同じ部屋に引越しした場合の満足度をもうけ、この総和を最大にすることが第1段階の目的とする。引越し後、各部屋の定員に対して割り当てられる学生数の割合ができるだけ均等になるようにするためのペナルティ項を目的関数に導入する。満足度を用いた人員配置問題の例として参考文献[1]のクラス編成問題が挙げられる。

2.2 第2段階のモデル

第2段階では、第1段階で得られた各教室の学生数をもとに机の再配置を行う。各部屋に割り当てられた学生数から学部生用の机と院生用の机の過不足数を計算し、学部生用と院生用の2種類の机の移動を最適化する問題を輸送問題として定式化する。

各部屋の机の過不足数は、

$(\text{机の過不足数}) = (\text{部屋に配置されている机の数}) - (\text{第1段階終了後の部屋の学生数})$

と定義する。各部屋の机の過不足数を計算すると、第1段階終了後の部屋は以下の3種類に分類できる。

- (1) $(\text{机の過不足数}) > 0$: 机の数が学生数より多い部屋
- (2) $(\text{机の過不足数}) < 0$: 机の数が学生数より少ない部屋
- (3) $(\text{机の過不足数}) = 0$: 机の数と学生数が同じ部屋

学生数に対して、(1)は机が不足している部屋、(2)は机が余っている部屋となる。(3)に関しては、机の過不足がないため、第2段階の部屋の対象から除く。机の過不足数を計算した結果から、(1)に当てはまる部屋を供給点、(2)に当てはまる部屋を需要点に設定する。ここでは、以下の2つの場合について最適な机の移動を考える。

- 院生には院生用の机を配置しなければならないが、学部生にはどちらの種類の机を割り当ててもよい場合。
- 院生には院生用の机、学部生には学部生用の机を割り当てる場合。

以上の2つの場合での机の最適配置を比較したうえで、最適な机の移動について検討する。

3 第1段階の定式化

3.1 記号の定義

本問題を定式化するにあたり、記号を以下のように定義する。

L : 研究室の集合

K : 学年の集合 {1 : 学部3年生, 2 : 学部4年生,

3: 修士1年生, 4: 修士2年生}

R : ダミー部屋を含めたすべての部屋の集合

R_1 : ダミー部屋以外の部屋集合

c_{r_1} : 部屋 r_1 の定員

m_{lk} : 研究室 l の学年 k の学生数

s_{rlk} : 引っ越し前部屋 r に研究室 l の学年 k の学生がいるとき 1, いないとき 0

e_{lk} : 研究室 l , 学年 k の学生がいるとき 1, いないとき 0

$n_{l_1 l_2}$: 引っ越し後, 研究室 l_1 , 学年 k_1 の学生が研究室 l_2 , 学年 k_2 の学生と同室になったときの満足度

p : ペナルティ項の重み

次に変数を定義する.

x_{ijklk} : 部屋 i から部屋 j に引っ越す研究室 l の学年 k の学生がいるとき 1, いないとき 0 をとるバイナリ変数

$y_{r_1}, z_{j l_1 k_1 l_2 k_2}, v_{jlk}$: 目的関数の線形化に必要な変数

3.2 定式化

定式化は以下の通りである.

Maximize

$$\begin{aligned} & \sum_{l_1} \sum_{l_2} n_{l_1 l_2} \sum_{j \in R_1} \sum_{k_1 \in K} \sum_{k_2 \in K} \left(\sum_{i \in R} x_{i_1 j l_1 k_1} \sum_{i_2 \in R} x_{i_2 j l_2 k_2} \right) \\ & - p \sum_{r_1 \in R_1} \sum_{r_1 \in R_1} \left\{ \frac{1}{c_{r_1}} \left(c_{r_1} - \left(\sum_{l \in L} \sum_{k \in K} s_{r_1 l k} m_{lk} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. - \sum_{j \in R_1} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{r_1 j k l} + \sum_{j \in R} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{j r_1 k l} \right) \right\} \end{aligned}$$

この式のままだと非線形となり計算不可能となるため, 変数 $y_{r_1}, z_{j l_1 k_1 l_2 k_2}, v_{jlk}$ を用いて次のような線形の式に書き直す.

Maximize

$$\begin{aligned} & \sum_{l_1 \in L} \sum_{l_2 \in L} n_{l_1 l_2} \sum_{j \in R_1} \sum_{k_1 \in K} \sum_{k_2 \in K} \left\{ \frac{1}{2} (v_{j l_1 k_1} + v_{j l_2 k_2} - z_{j l_1 k_1 l_2 k_2}) \right\} z_{j l_1 k_1 l_2 k_2} \geq 0 \\ & - p \sum_{r_1 \in R_1} y_{r_1} \quad (3.1) \end{aligned} \quad (j \in R_1, l_1 \in L, l_2 \in L, k_1 \in K, k_2 \in K) \quad (3.15)$$

制約条件

$$\frac{1}{c_{r_1}} \left\{ c_{r_1} - \left(\sum_{l \in L} \sum_{k \in K} s_{r_1 l k} m_{lk} - \sum_{j \in R_1} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{r_1 j k l} \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{j \in R} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{j r_1 k l} \right) \right\} \leq y_{r_1} \quad (r_1 \in R_1) \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{c_{r_1}} \left\{ c_{r_1} - \left(\sum_{l \in L} \sum_{k \in K} s_{r_1 l k} m_{lk} - \sum_{j \in R_1} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{r_1 j k l} \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{j \in R} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} m_{lk} x_{j r_1 k l} \right) \right\} \leq y_{r_1} \quad (r_1 \in R_1) \quad (3.3)$$

$$v_{jlk} = \sum_{i \in R} x_{ijklk} \quad (j \in R_1, l \in L, k \in K) \quad (3.4)$$

$$v_{j l_1 k_1} - v_{j l_2 k_2} \leq z_{j l_1 k_1 l_2 k_2} \quad (j \in R_1, l_1 \in L, l_2 \in L, k_1 \in K, k_2 \in K) \quad (3.5)$$

$$-v_{j l_1 k_1} + v_{j l_2 k_2} \leq z_{j l_1 k_1 l_2 k_2} \quad (j \in R_1, l_1 \in L, l_2 \in L, k_1 \in K, k_2 \in K) \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in R} \sum_{j \in R_1} x_{ijklk} = e_{lk} \quad (l \in L, k \in K) \quad (3.7)$$

$$m_{lk} \sum_{j \in R_1} x_{r_1 j l k} = s_{r_1 l k} m_{lk} \quad (r \in R, l \in L, k \in K) \quad (3.8)$$

$$m_{lk} x_{r_1 r_1 l k} = s_{r_1 l k} m_{lk} \quad (r_1 \in R_1, l \in L, k = 2, 4) \quad (3.9)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in L} x_{r r l k} \leq 4 \quad (r_1 \in R_1, k = 1, 2) \quad (3.10)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in L} x_{r r l k} \leq 3 \quad (r_1 \in R_1, k = 3, 4) \quad (3.11)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} x_{r r l k} \geq 1 \quad (r_1 \in R_1) \quad (3.12)$$

$$x_{ijklk} \geq 0 \quad (i \in R, j \in R_1, l \in L, k \in K) \quad (3.13)$$

$$y_{r_1} \geq 0 \quad (r_1 \in R_1) \quad (3.14)$$

目的関数と制約条件の意味は以下の通りである.

(3.1): 引っ越し後, 部屋 j において研究室 l_1 , 学年 k_1 の学生が研究室 l_2 , 学年 k_2 の学生と同室になったときの満足度の総和を最大化させる目的関数

(3.2), (3.3): 変数 y_r に関する制約

(3.4): 変数 v_{jlk} に関する制約

(3.5), (3.6): 変数 $z_{j l_1 k_1 l_2 k_2}$ に関する制約

(3.7): すべての学生の引っ越し先となる部屋の数 はダミー部屋以外の1つの部屋である

(3.8): すべての学生はダミー部屋を含むすべての部屋からダミー部屋以外の部屋に引っ越す

(3.9): 新学部4年生, 新修士2年生は引っ越しをしない

(3.10): 学部生の部屋は最大4つの研究室で共有できる

(3.11): 院生の部屋は最大3つの研究室で共有できる

(3.12): 引っ越し後, 空き部屋は作らない

(3.13), (3.14), (3.15): 非負制約

4 第2段階の定式化

4.1 記号の定義

本問題を定式化するにあたり，記号を以下のように定義する．

- R_{S_1} : 学部生用の机を供給する部屋の集合
- R_{D_1} : 学部生用の机を受け取る部屋の集合
- R_{S_2} : 院生用の机を供給する部屋の集合
- R_{D_2} : 院生用の机を受け取る部屋の集合
- F : 机の種類集合 {1 : 学部生用, 2 : 院生用}
- g_{ij} : 部屋 (i, j) 間の距離
- s_{if} : 部屋 i における机 f の供給量
- d_{jf} : 部屋 j における机 f の需要量

次に変数の定義を行う．

- z_{ijf} : 部屋 i から部屋 j に移動する机 f の個数

4.2 学部生用の机の移動

定式化は以下の通りである．

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in R_{S_1}} \sum_{j \in R_{D_1}} g_{ij} z_{ij1} \quad (4.1)$$

制約条件

$$\sum_{j \in R_{D_1}} z_{ij1} \leq s_{i1} \quad (i \in R_{S_1}) \quad (4.2)$$

$$\sum_{i \in R_{S_1}} z_{ij1} \geq d_{j1} \quad (j \in R_{D_1}) \quad (4.3)$$

$$z_{ij1} \geq 0 \quad (i \in R_{S_1}, j \in R_{D_1}) \quad (4.4)$$

目的関数と制約条件の説明は以下の通りである．

- (4.1) : 学部生用の机の総移動距離を最小にする目的関数
- (4.2) : 各部屋の机の供給量に関する制約
- (4.3) : 各部屋の机の需要量に関する制約
- (4.4) : 非負制約

4.3 院生用の机の移動

定式化は以下の通りである．

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in R_{S_2}} \sum_{j \in R_{D_2}} g_{ij} z_{ij2} \quad (4.5)$$

制約条件

$$\sum_{j \in R_{D_2}} z_{ij2} \leq s_{i2} \quad (i \in R_{S_2}) \quad (4.6)$$

$$\sum_{i \in R_{S_2}} z_{ij2} \geq d_{j2} \quad (j \in R_{D_2}) \quad (4.7)$$

$$z_{ij2} \geq 0 \quad (i \in R_{S_2}, j \in R_{D_2}) \quad (4.8)$$

制約条件の意味は，4.2節で説明した学部生用の机の移動の問題と同様である．

5 使用したデータ

第1段階で使用した満足度のデータの一部を表1に示す．同じ研究室同士が同じ部屋に割り当てられる場合がもっとも満足度が高く，領域は違うが学科は同じ研究室同士が同じ部屋に割り当てられる場合は，満足度がもっと小さくなるように設定した．

表1 情報通信学科生の研究室の割り当てに対する満足度

	通信			ソフトウェア								
	石崎	奥村	後藤	青山	河野	張	蜂巢	野呂	宮澤	横森	吉田	
通信	石崎	100	35	35	0	0	0	0	0	0	0	0
	奥村	35	100	35	0	0	0	0	0	0	0	0
	後藤	35	35	100	0	0	0	0	0	0	0	0
ソフトウェア	青山	0	0	0	100	35	35	35	35	35	35	35
	河野	0	0	0	35	100	35	35	35	35	35	35
	張	0	0	0	35	35	100	35	35	35	35	35
	蜂巢	0	0	0	35	35	35	100	35	35	35	35
	野呂	0	0	0	35	35	35	35	100	35	35	35
	宮澤	0	0	0	35	35	35	35	35	100	35	35
	横森	0	0	0	35	35	35	35	35	35	100	35
	吉田	0	0	0	35	35	35	35	35	35	35	100

第1段階実行前に各部屋に割り当てられている学生数と第2段階実行前の各部屋の机の台数は，2011年度部屋割り案に記載されているデータを参考にして作成した．

第2段階で使用した各部屋間の距離については，キルビメータを使って，各部屋間の距離を測定した値を用いた．エレベータでの移動距離については，水平距離では測れないため，利用につき5mの重みをつけ，部屋間の距離に加算した．

6 実行結果と考察

6.1 第1段階

第1段階の結果を表2にまとめた．表2中の「情シス」は情報システム数理学科，「情通」は情報通信学科のことを示しており，「研究室」は第1段階の計算によって得られた引越し後の部屋割り，「学生数」は引越し後各部屋に割り当てられた学生数，「目的関数値」は各学科・学年ごとに行った引越しの作業の計算で得られた目的関数値を示している．

2011年度の部屋割りにおける目的関数値の総和と表2の実行結果の部屋割りにおける目的関数値の総和を比較すると， $12348.75 - 11663.75 = 685$ より約685増加した．これは，満足度をもうけたことにより同じ研究室，同じ領域同士の学生が同室になるような部屋割りを求めることができたためだと考えられる．また，目的関数にペナルティ項をもうけたことで各部屋に割り当てられる学生数の偏りが緩和されたことも目的関数値増加の理由の1つとして推測できる．

6.2 第2段階

(i) 院生には院生用の机を配置しなければならないが，学部生にはどちらの種類も配置してもよい場合

(ii) 院生には院生用の机，学部生には学部生用の机を配置する場合

の2つの場合に分けて実行しようと考えたが，(ii)については，学部生用の机が28台不足して実行不可能で

あることが分かったため、(i) の場合のみ計算することにした。

(i) における機の総移動距離は、3674.5(m) となった。実行結果を 2011 年度の実際の機の移動と比較したところ、実行結果の方が総移動距離が 1184m 長くなった。原因は、人の移動の後に機の移動を行ったことで、満足度が優先されたためと考えられる。そのため、機の総移動距離は長くなるが、学生の満足度は上がるという結果になった。

第 1 段階の実行結果と第 2 段階の (i) の実行結果をまとめた最終実行結果を表 3 にまとめた。表 3 は、研究室の引越し終了後の各部屋の学生数と機の台数を示している。

7 おわりに

第 1 段階の実行に伴い、次の 2 点が問題点としてあげられる。

まず 1 つ目は、今回はデータの規模の関係で各学科の学年を学部 3 年、学部 4 年、修士 1 年、修士 2 年という 4 学年にわけのではなく、学部生、院生の 2 つに分けて計算を実行せざるを得なかったという点である。さらに、学部 4 年生、修士 2 年生の引越しはしないという制約をもうけたため、学部 3 年生、修士 1 年生のみの引越しスケジュールという小規模な計算しか行うことができなかった。作業効率を良くするには全学科、全学年の学生を 1 度の計算で全部屋のいずれかに割り当てることが望ましいため、今後も改善の必要がある。

2 つ目は、満足度の式の性質上各部屋に割り当てられる研究室数に偏りが発生してしまうため、1 部屋に割り当てることのできる研究室数に範囲をもうけなければならないという点である。学生数、研究室数が変わるたびに研究室数の上限、下限も変えるは作業効率が悪くなるので、この点においても改善の必要がある。以上の 2 点から、第 1 段階ではさらなる定式化の見直しを行うことで、より実用的なスケジュールになると言える。

第 2 段階の改善点は、2 つある。

1 つ目は、データ入力に手作業が多いことである。機の過不足の計算は、手作業では入力ミスやが起きやすく、作成に多くの時間がかかってしまうため、計算を自動化するシステムを考える必要がある。

2 つ目は、人の配置と機の配置を同時に実行できるモデルの作成である。今回、人の配置の後に機の移動を行ったことで、実行結果は人の配置を優先した形になった。今後は、人と機の移動の両方を配慮したモデルの作成が必要である。

表 2 第 1 段階実行結果

学科	部屋	研究室	学生数	部屋の定員	目的関数値
情シス	H405	佐々木 (B4)	11	14	5295.89
	H406	白井 (B3)	11	14	
	H410	木村 (B3,B4)	22	20	
	H411	松下 (B3,B4)	22	20	
	H414	杉田 (B3,B4)	21	20	
	H415	小藤 (B3,B4)	20	20	
	H305	佐々部 (B3,B4)	24	20	
	H306	陳 (B3,B4)	24	20	
	H308	市川 (B3,B4)	19	14	
	G402	高木 (B3,B4), 大谷 (B3)	34	40	
	G403	小塚 (B3,B4), 鈴木 (B3,B4)	43	40	
	G404	尾崎 (B4), 澤木 (B3,B4), 佐々木 (B3)	44	40	
	H403	佐々部 (M2), 杉田 (M2)	5	10	
	H404	松田 (M1,M2)	11	10	
	H407	尾崎 (M2), 伏見 (M1)	4	10	
	H413	木村 (M1)	4	10	
	H302	高木 (M2)	8	10	
H303	高木 (M1)	12	10		
H312	鈴木 (M1)	9	10		
H313	鈴木 (M2), 小塚 (M2), 澤木 (M1)	9	10		
情通	H204	蜂巣 (B4), 吉井 (B4)	30	24	3341.43
	H205	石沢 (B3), 奥村 (B3)	22	20	
	H208	野田 (B4)	12	10	
	H209	張 (B4)	11	10	
	H212	野田 (B3), 横川 (B3)	22	20	
	H213	張 (B3), 吉井 (B3)	22	20	
	H310	宮澤 (B3)	11	14	
	H311	奥村 (B4)	23	14	
	H315	石沢 (B4)	16	20	
	G301	青山 (B3,B4)	25	40	
	G302	河野 (B3,B4)	25	40	
	G401	松井 (B3,B4)	25	40	
	H201	野田 (M1,M2)	18	20	
	H202	河野 (M1,M2), 吉井 (M1)	12	14	
	H210	青山 (M1)	10	10	
	H211	青山 (M2)	7	10	
	H309	奥村 (M1,M2), 石沢 (M1)	8	14	
H314	松井 (M1,M2)	4	20		
	合計			12348.75	

表 3 引越し作業後の各部屋の学生数と機の台数

r	部屋	研究室	学生数	部屋の定員	学部生機	院生機
1	H405	佐々木 (B4)	11	14	0	11
2	H406	白井 (B3)	11	14	11	0
3	H410	木村 (B3,B4)	22	20	22	0
4	H411	松下 (B3,B4)	22	20	22	0
5	H414	杉田 (B3,B4)	21	20	21	0
6	H415	小藤 (B3,B4)	20	20	20	0
7	H305	佐々部 (B3,B4)	24	20	24	0
8	H306	陳 (B3,B4)	24	20	24	0
9	H308	市川 (B3,B4)	19	14	19	0
10	G402	高木 (B3,B4), 大谷 (B3)	34	40	34	0
11	G403	小塚 (B3,B4), 鈴木 (B3,B4)	43	40	43	0
12	G404	尾崎 (B4), 澤木 (B3,B4), 佐々木 (B3)	44	40	44	0
13	H403	佐々部 (M2), 杉田 (M2)	5	10	0	8
14	H404	松田 (M1,M2)	11	10	0	10
15	H407	尾崎 (M2), 伏見 (M1)	4	10	0	4
16	H413	木村 (M1)	4	10	0	4
17	H302	高木 (M2)	8	10	0	8
18	H303	高木 (M1)	12	10	0	12
19	H312	鈴木 (M1)	9	10	0	9
20	H313	鈴木 (M2), 小塚 (M2), 澤木 (M1)	9	10	0	9
21	H204	蜂巣 (B4), 吉井 (B4)	30	24	30	0
22	H205	石沢 (B3), 奥村 (B3)	22	20	18	4
23	H208	野田 (B4)	12	10	12	0
24	H209	張 (B4)	11	10	1	10
25	H212	野田 (B3), 横川 (B3)	22	20	22	0
26	H213	張 (B3), 吉井 (B3)	22	20	19	3
27	H310	宮澤 (B3)	11	14	11	0
28	H311	奥村 (B4)	23	14	14	9
29	H315	石沢 (B4)	16	20	16	0
30	G301	青山 (B3,B4)	25	40	29	0
31	G302	河野 (B3,B4)	25	40	26	0
32	G401	松井 (B3,B4)	25	40	25	0
33	H201	野田 (M1,M2)	18	20	18	0
34	H202	河野 (M1,M2), 吉井 (M1)	12	14	0	12
35	H210	青山 (M1)	10	10	0	10
36	H211	青山 (M2)	7	10	0	7
37	H309	奥村 (M1,M2), 石沢 (M1)	8	14	0	9
38	H314	松井 (M1,M2)	4	20	0	10

参考文献

- [1] 今野浩：『数理決定法入門 キャンパスの OR』，朝倉書店，東京，1992。