

コロナ禍における研究室見学順の最適化

片田喜章 工藤隆則 金澤尚史（摂南大学）

概要 現在、ほとんどの人がコロナ禍において多くの制約を課された生活を送っている。緊急事態宣言が発出されている都道府県にある大学では大人数での対面授業の実施が制限され、少人数で感染対策が施された場合に限り、対面授業が実施できるなどの対応がとられている。著者らが所属する学科では、学部1年生の研究室見学を対面で実施するにあたり、学生の希望見学先や人数的・時間的制限などを考慮して各学生の見学順を決める必要があった。そこで、本問題を線形計画問題として定式化し、計算機実験を行い、その結果に基づいて研究室見学を実施した。本稿ではその詳細について報告する。

キーワード: 経路計画, 線形計画問題, 感染防止策

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症(以下 COVID-19)の感染拡大により、その防止策として様々な制約が課された自粛生活を余儀なくされている。政府による緊急事態宣言発出、基本的対処方針でその対策法や指針が示される。それに伴い、文部科学省から大学等に対し事務連絡や留意事項として要請がなされる。感染拡大が顕著になった2020年度には都市部に位置する多くの大学では対面授業からオンライン授業に変更になった。2021年初頭には、入学後1度も大学に登校できていない学部1年生の問題が取り上げられ、2021年度の当初には多くの大学で対面授業再開の機運が高まった。しかし、COVID-19の度々の再拡大により、本原稿執筆時において大人数の学生が参加する対面講義を制限せざるを得ない状況にある。2020年度との違いとしては、一律に対面講義を制限するのではなく、少人数、いわゆるソーシャルディスタンスが確保でき、感染症対策がとられる場合に対面授業が実施されていることが挙げられる。筆者が勤務する大学においても、同様の状況である。

2021年度前期において、筆者が所属する学科の1年生を対象とした必修授業「電気情報工学概論」では入学したばかりの1年生に電気電子工学と情報工学に関する概要を伝え、当該分野に対する興味を喚起することを目的としている。専任教員によるオムニバス形式の口述講義を基本とし、学期末の最終2回の講義日に研究室見学を設定している。年度初めの緊急事態宣言の発出により、研究室見学に替わる、研究室紹介動画・資料をオンデマンド配信で用意する一方で、希望者に対し対面の研究室見学の実施を模索した。感染防止策を講じながら、教室よりも空間的に小さい研究室に滞在、移動を繰り返す研究室見学に関し、どのように各学生の実験室見学順を決定するかという問題が生じた。本問題を数理計画問題としてモデル化し、見学順を決定し、研究室見学を実施した詳細について報告する。

2 研究室見学の条件

COVID-19 感染防止策を念頭に、当該科目の受講者数・研究室数・研究室間の移動時間を考慮して以下のような実施条件を設定した。なお、研究室は同じ建物の4,5,6階に位置し、移動は徒歩で各階への移動は階段を使うものとする。

- 受講生 124 人と想定する。
- 1 コマ 90 分を 2 コマ実施し、学生の半分をどちら

かの日に割り振る。

- 各時間、各研究室に見学に来る学生は、124 人/2 日 /10 研究室=6.2 人となり、この数を上限とする。
- 1 研究室説明 15 分とする。
- 研究室間の移動は 10 分で可能である。
- 1 コマで 4 研究室見学する。
- 見学する 4 研究室は希望をとる。
- 各時間帯に来室予定の学生が揃ったら説明を始めてよい。
- 各時間帯の終了時間は同期をとり、一斉に静かに移動する。
- 各研究室の説明は教員 (+ゼミ生 1 名) の最大 2 名で実施する。

研究室見学時のスケジュールを以下に示す。

- 13:10 集合
- 13:20 時間帯 1 説明開始
- 13:35 時間帯 1 説明終了 → 移動開始
- 13:45 時間帯 2 説明開始
- 14:00 時間帯 2 説明終了 → 移動開始
- 14:10 時間帯 3 説明開始
- 14:25 時間帯 3 説明終了 → 移動開始
- 14:35 時間帯 4 説明開始
- 14:50 時間帯 4 説明終了

3 数理計画問題としての定式化

2 節で述べた条件を満たす見学順作成にあたり、つぎの線形計画問題として定式化した。

$$\min \quad \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathcal{N}} a_i + w a_{\max} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad a_{\max} \geq a_i \quad \forall i \in \mathcal{N} \quad (2)$$

$$a_i = \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{k \in \mathcal{K}} c_{ij} u_{ij}^k \quad \forall i \in \mathcal{N} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} u_{ij}^k \leq M \quad \forall j \in \mathcal{J}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} u_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \mathcal{N}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (5)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} u_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{N}, \forall j \in \mathcal{J} \quad (6)$$

ここで、 $\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$ は学生の集合、 $\mathcal{J} = \{1, 2, \dots, J\}$ は研究室の集合、 $\mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$ は時間帯の集合であり、 $c_{ij} \in \{1, 2, \dots, J\}$ は学生 $i \in \mathcal{N}$ の研究室 $j \in \mathcal{J}$ の見学希望順位、 $u_{ij}^k \in \{0, 1\}$ は学生 $i \in \mathcal{N}$ が研究室 $j \in \mathcal{J}$ に時間帯 $k \in \mathcal{K}$ で見学するとき 1、しないとき 0 とする。 M は各研究室の 1 時間帯当たりの定員、 w は重みパラメータを表す。

(1) 式は目的関数であり、(3) 式は学生 i が見学する研究室の希望順位の合計である。したがって、(1) 式の第 1 項は学生全員の見学する研究室の希望順位の合計の平均を表す。(4) 式は各研究室の各時間帯では、見学者は M 人以下とすることを表し、(5) 式はすべての学生はすべての時間帯でいずれかの研究室を見学することを表し、(6) 式は各学生は 1 つの研究室に 1 回までしか見学できないことを表す。(2) 式は a_{\max} が満たすべき条件、つまり、学生に関する見学する研究室の希望順位の合計の最大値であり、この値に重みをかけた数値を目的関数の第 2 項としている。これは、目的関数第 1 項だけでは、希望順に対する平滑化が成されない(公平性が担保できない)ためであり、希望順位が大きい、つまり、希望に沿わない研究室に割り振ることを抑制することを目的としている(最大値最小化¹⁾)。したがって、本線形計画問題の決定変数は u_{ij}^k および a_{\max} である。

4 計算機実験

4.1 模擬データを用いた実験

3 節の定式化を用いた最適化が意図する解を得られるかを検証するために学生の希望をランダムに生成した模擬データを用いて計算機実験を行った。各パラメータを以下に示す。 $N = 70$, $J = 10$, $K = 4$, $M = 7$, $w = 0.5$ 。

上記の設定で 3 節で述べた問題を線形計画ソルバ²⁾を用いて解いた結果を表 1 に示す。各学生が見学する研究室の希望順位の合計である a_i の値は 10 もしくは 11 になっている。ここで、 $a_i = 10$ は希望順位 1 から 4 の希望通りの研究室を見学できることを意味し、 $a_i = 11$ は次点の希望になっていることを表す。

4.2 実データを用いた実験

1 節で述べた講義の受講生に研究室見学希望順位アンケートを行った。以下では、希望順位アンケートを行った結果(表 2)に基づいたデータを用いた実験について説明する。当初の予定の見学実施日は 7 月 22 日・

23 日を予定していた。本研究室見学は希望者のみとしたため、当初想定した人数より大幅に少ない 18 名の見学希望となったため、7 月 22 日のみの開催とした。アンケートは各研究室の見学希望順位を重複させないルールとしていたが、システム設定で入力することが可能であったため、アンケート結果を見ると一部の学生が以下のような重複した順位を入力したことがわかった。第 4 希望の記入がない学生が 1 名 ($i = 15$)、第 1 希望の記入がない学生が 1 名 ($i = 16$)、すべての研究室に希望順位を 10 と記入した学生が 2 名 ($i = 17, 18$) いた。そのため、 $i = 17, 18$ の学生を除外した 16 名のデータで計算機実験を行った。この実データを用いた実験での各パラメータを以下に示す。 $N = 16$, $J = 10$, $K = 4$, $M \in \{2, 3, 4\}$, $w = 0.5$ 。

上記の設定で前節と同じ線形計画ソルバを用いて解いた結果を表 3-5 に示す。各研究室の 1 時間帯当たりの定員 $M = 2$ の場合、希望順合計 a_i の最良値は 11 となり、誰も希望順位 1 から 4 の希望通りの研究室を見学できない結果となった(表 3)。 $M = 3, 4$ の場合、正常な希望順を入力した学生 14 名は希望順位通りの結果 ($a_i = 10$) となった(表 4, 5)。また、 $i = 15$ および $i = 16$ の学生は $a_{15} = a_{16} = 11$ となった。これは上述のように第 1 希望もしくは第 4 希望の記入がないためである。以上の結果より、希望順位通りの結果であり、各研究室の 1 時間帯当たりの定員がより少ない $M = 3$ の見学順を採用した。なお、 $i = 17, 18$ の学生については、人数の少ない研究室に手動で振り分けた。採用した見学順である表 4 のみに $i = 17, 18$ の学生に関する手動振り分け結果と希望順位の合計を記している。

上記で得られた $M = 3$ の見学順を各学生に配布した。見学当日に体調不良などにより数名が欠席したが、各学生は希望通りの研究室を見学することができた。各見学場所では換気を徹底し、人数を制限していることから、容易にソーシャルディスタンスを確保することができた。実施する側も参加する側もある程度の安心感を持って研究室見学ができたと認識している。

5 おわりに

本研究では、COVID-19 の感染防止策を講じることで生じる、様々な時空間的な拘束を考慮した研究室見学順決定問題を線形計画問題として定式化し、ソルバを用いて実験を行った。得られた解は拘束条件を満たし、かつ、多くの学生の希望順を満たすものであることを確認した。模擬データでは学生の希望を完全にランダムに生成していた。学生間で希望の偏りがある模擬データを用いた実験も行う予定である。また、実データを用いた実験では見学参加者が少なかったため、参加者が多い場合での有効性を検証したい。

本アプローチは移動時間は一定で均一としているが、ある範囲の限定された空間で見学が行われるならば有効であると考えている。また、本アプローチはオープンキャンパスでのラボツアーなどにも適用可能だと考えられる。

参考文献

- 1) 坂和, 西崎: 数理計画法入門, 森北出版 (2014)
- 2) IBM ILOG CPLEX: <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>

Table 1: 模擬データに基づいた最適見学順 (数値は研究室番号 j)

学生 ID	時間帯 k				希望順合計	学生 ID	時間帯 k				希望順合計
i	1	2	3	4	a_i	i	1	2	3	4	a_i
1	6	8	4	7	10	36	5	6	9	4	10
2	10	8	9	2	10	37	8	3	4	1	11
3	8	3	4	10	11	38	7	5	9	4	10
4	1	10	2	7	11	39	3	7	1	5	10
5	7	1	5	2	10	40	10	7	3	1	10
6	3	6	8	10	11	41	2	5	9	3	11
7	2	8	10	7	10	42	5	7	6	8	11
8	2	8	3	4	10	43	5	9	4	1	10
9	3	6	2	4	10	44	9	1	10	4	10
10	2	3	1	8	10	45	6	1	7	3	10
11	4	2	8	10	10	46	10	4	5	8	10
12	5	7	1	10	10	47	6	9	4	1	10
13	7	10	8	9	10	48	10	9	6	2	11
14	2	8	5	1	10	49	4	1	3	9	11
15	2	4	5	6	11	50	2	7	3	8	10
16	1	2	7	3	11	51	8	1	4	9	10
17	8	6	1	5	11	52	9	3	1	2	10
18	6	5	10	2	10	53	1	10	2	7	10
19	9	10	7	6	11	54	6	1	9	10	10
20	6	4	5	9	10	55	10	4	6	7	10
21	1	2	4	8	11	56	7	10	8	3	11
22	4	9	10	3	10	57	9	4	5	7	10
23	10	7	8	6	10	58	7	3	2	1	11
24	1	2	6	3	10	59	3	2	7	10	10
25	7	1	10	4	10	60	3	6	2	10	11
26	3	8	9	5	10	61	5	9	3	1	11
27	6	3	1	9	11	62	4	9	7	5	10
28	5	10	8	9	10	63	4	5	7	8	11
29	10	8	2	7	10	64	8	2	3	5	10
30	4	3	1	6	10	65	3	6	2	8	11
31	9	5	7	6	10	66	9	5	8	6	10
32	7	4	3	5	10	67	8	5	10	2	11
33	9	10	6	5	11	68	1	9	6	4	10
34	8	4	5	2	10	69	5	2	6	9	11
35	1	7	9	6	10	70	4	6	10	3	10

Table 2: アンケートによる学生の希望順位 j

学生 ID(i)	研究室 j									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8	9	6	7	10	4	1	2	3	5
2	9	2	8	7	1	3	4	6	5	10
3	10	3	7	5	2	1	6	9	8	4
4	5	4	6	7	8	1	3	10	9	2
5	7	10	6	4	5	2	1	8	3	9
6	9	8	10	6	1	2	3	5	7	4
7	2	4	10	7	3	8	1	5	6	9
8	8	7	10	9	5	1	2	4	6	3
9	4	5	10	6	3	1	9	7	8	2
10	8	7	6	5	1	2	9	10	4	3
11	8	7	6	5	4	2	3	9	10	1
12	5	6	7	8	2	3	4	9	10	1
13	8	9	10	7	3	2	4	5	6	1
14	4	6	8	9	10	1	2	5	7	3
15	10	1	10	5	10	2	3	10	10	10
16	3	3	3	4	7	8	6	2	3	10
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Table 3: 実データに基づいた最適見学順 (数値は研究室番号 j): $M = 2$

学生 ID i	時間帯 k				希望順合計 a_i
	1	2	3	4	
1	7	9	8	3	12
2	7	2	5	9	12
3	4	5	6	2	11
4	6	10	2	1	12
5	5	4	9	7	13
6	5	8	10	7	13
7	2	1	7	8	12
8	9	6	7	8	13
9	6	2	1	10	12
10	9	5	4	10	13
11	4	10	5	6	12
12	10	7	1	5	12
13	10	6	8	5	11
14	1	8	10	6	13
15	2	7	6	4	11
16	8	1	3	9	11

Table 4: 実データに基づいた最適見学順 (数値は研究室番号 j): $M = 3$

学生 ID i	時間帯 k				希望順合計 a_i
	1	2	3	4	
1	8	9	7	6	10
2	7	5	6	2	10
3	6	2	5	10	10
4	10	7	2	6	10
5	6	9	7	4	10
6	6	10	7	5	10
7	1	5	7	2	10
8	8	7	6	10	10
9	5	1	10	6	10
10	5	9	6	10	10
11	6	7	10	5	10
12	10	6	5	7	10
13	7	10	5	6	10
14	7	1	6	10	10
15	7	6	4	2	11
16	3	8	2	9	11
17	4	3	1	8	40
18	4	3	1	8	40

Table 5: 実データに基づいた最適見学順 (数値は研究室番号 j): $M = 4$

学生 ID i	時間帯 k				希望順合計 a_i
	1	2	3	4	
1	8	9	7	6	10
2	7	5	6	2	10
3	6	2	5	10	10
4	10	7	2	6	10
5	6	9	7	4	10
6	6	10	7	5	10
7	1	5	7	2	10
8	8	7	6	10	10
9	5	1	10	6	10
10	5	9	6	10	10
11	6	7	10	5	10
12	10	6	5	7	10
13	7	10	5	6	10
14	7	1	6	10	10
15	7	6	4	2	11
16	3	8	2	9	11