

# 麻酔科医と看護師の勤務を考慮した手術のスケジューリング問題

2018SS009 羽根田紗弥 2018SS014 日比野アミ 2018SS047 新美亜里咲

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

現在、多くの病院で手術のスケジューリングや麻酔科医・看護師のシフト作成、割当がスケジュール担当者の手作業で行われている。これらの作業は時間や手間がかかるため、担当者の通常業務に支障をきたす可能性がある。

そこで、先行研究ではオペレーションズ・リサーチを用いることでこれまでの作業を自動で行うシステムを作成した。[1][2]。しかし、「手術のスケジューリングシステム」は麻酔科医・看護師のシフトを考慮していないため、割当を行えない手術が存在する可能性がある。ゆえに本研究の目標は、麻酔科医・看護師のシフトを考慮した手術スケジューリングと麻酔科医・看護師の割当を同時に行うシステムを作成することである。このシステムにより、割り当てる麻酔科医・看護師の不足の軽減やスケジュール作成時間の短縮により、担当者の負担が大幅に減少するだろう。

## 2 問題解決へのアプローチ

本研究の目標を達成するために、「麻酔科医と看護師の勤務を考慮した手術のスケジューリング問題」を数理計画モデルとして定式化を行い、最適化ソフトウェアを用いて実行可能解を計算する。その際には、先行研究の定式化に工夫を凝らし、大規模で複雑な問題を実用的な時間で解けるようにする。

しかし、割当問題において先行研究と異なる点は、各手術の実施時刻が決定されていないことである。先行研究では、各手術は「午前」・「午後」・「全日」のいずれかの集合に分けられており、実施時刻が重複する2つの手術の組み合わせは0-1定数で表されている。しかし、本研究では「各手術が『午前』・『午後』・『全日』のうちどの時間帯に属するのか」と「実施時間が重複する2つの手術の組み合わせ」を0-1変数で表す必要がある。

また、本研究では線形計画法を用いるため、先行研究の制約式を定数から変数に変更することで、非線形になり得る制約式を見直す必要がある。

## 3 問題の定式化

本節では、前述の手術スケジューリング問題を0-1整数計画法の問題として定式化する。定式化においては、あらかじめ割当を固定させるための定数・制約条件を設けている。

尚、ここでは先行研究とほとんど変更していない「看護師・麻酔科医の公平性」の制約式を省略している。

### 3.1 記号の定義

定式化にあたり、以下のように記号の定義を行う。

### 集合

- $H$  : 手術室  $h$  の集合,  $h \in H$
- $I$  : 手術  $i$  の集合,  $i \in I$
- $J$  : 麻酔科医  $j$  の集合,  $j \in J$
- $K$  : 看護師  $k$  の集合,  $k \in K$
- $L$  : 診療科  $l$  の集合,  $l \in L$
- $T$  : 時刻  $t$  の集合,  $t \in T$
- $Q_1$  : 麻酔科医のスキルレベルの集合
- $Q_2$  : 看護師のスキルレベルの集合
- $J_1$  : 午前勤務の麻酔科医の集合
- $J_2$  : 午後勤務の麻酔科医の集合
- $J_3$  : 全日勤務の麻酔科医の集合
- $K_1$  : 午前勤務の看護師の集合
- $K_2$  : 午後勤務の看護師の集合
- $K_3$  : 全日勤務の看護師の集合

### 定数

- $U$  : 手術室の閉室時刻
- $F A_{lh}$  : 診療科  $l$  が手術室  $h$  を午前に使用することが可能な時間 ( $l \in L, h \in H$ )
- $F P_{lh}$  : 診療科  $l$  が手術室  $h$  を午後を使用することが可能な時間 ( $l \in L, h \in H$ )
- $d_i$  : 手術  $i$  の推定した所要時間 ( $i \in I$ )
- $D_i$  : 手術  $i$  の手術開始前の猶予時間 ( $i \in I$ )
- $c_i$  : 手術  $i$  に割り当てる補助麻酔科医の人数の上限 ( $i \in I$ )
- $S_l$  : 診療科  $l$  の手術の最早開始時刻 ( $l \in L$ )
- $a_{ji}$  : 手術  $i$  に必要な麻酔科医のスキルレベル ( $i \in I, a_{ji} \in Q_1$ )
- $b_{ji}$  : 手術  $i$  におけるスキルレベル  $b_{ji}$  の麻酔科医の必要人数 ( $i \in I, b_{ji} \in Q_1$ )
- $ak_i^u$  : 手術  $i$  に必要な役割  $u$  の看護師のスキルレベル ( $i \in I, ak_i^u \in Q_2$ )
- $bk_i^u$  : 手術  $i$  における役割  $u$ , スキルレベル  $bk_i^u$  の看護師の必要人数 ( $i \in I, bk_i^u \in Q_2$ )
- $r_{jj}$  : 麻酔科医  $j$  のスキルレベル ( $r_{jj} \in Q_1$ )
- $rk_{ik}^u$  : 看護師  $k$  の手術  $i$  における役割  $u$  としてのスキルレベル
- $n$  : 午後手術の開始時刻
- $\eta_1$  : 手術の時間帯の変数を確定させる優先順位を表す重み
- $\eta_2$  : 重複している麻酔科医・看護師の最小化の優先順位を表す重み
- $\eta_3$  : 補助麻酔科医の人数の優先順位を表す重み
- $\eta_4$  : 麻酔科医・看護師の公平性の優先順位を表す重み
- $M$  : 十分に大きな定数

$$V_{il} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ が診療科 } l \text{ に所属} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, l \in L)$$

$$u = \begin{cases} 1 & \text{外回り看護師} \\ 0 & \text{器具出し看護師} \end{cases}$$

## 変数

$$w_{iht} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ が手術室 } h \text{ を時刻 } t \text{ で開始} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, h \in H, t \in T)$$

$$x_{ik}^u = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ に看護師 } k \text{ を役割 } u \text{ の看護師として} \\ & \text{割り当てる} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, k \in K, u \in \{1, 2\})$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ に麻酔科医 } j \text{ を麻酔科医として} \\ & \text{割り当てる} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, j \in J)$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ に麻酔科医 } j \text{ を補助麻酔科医} \\ & \text{として割り当てる} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, j \in J)$$

$$AM_i = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ を午前に行う} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I)$$

$$PM_i = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ を午後に行う} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I)$$

$$AD_i = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ を全日に行う} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I)$$

$$AD_i^1 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ は午前に開始する} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I)$$

$$AD_i^2 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ は午後に終了する} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I)$$

$$s_{ii'} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重なっている} \\ 0 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重なっていない} \end{cases} \quad (i, i' \in I)$$

$$s_{ii'}^1 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重複する条件の} \\ & \text{1つを満たす} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i, i' \in I)$$

$$s_{ii'}^2 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重複する条件の} \\ & \text{1つを満たす} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i, i' \in I)$$

$$s_{ii'}^3 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重複しない条件の} \\ & \text{1つを満たす} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i, i' \in I)$$

$$s_{ii'}^4 = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i, i' \text{ の実施時間が重複しない条件の} \\ & \text{1つを満たす} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i, i' \in I)$$

$$pj_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ に麻酔科医 } j \text{ が割り当て可能} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, j \in J)$$

$$pk_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ に看護師 } k \text{ が割り当て可能} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i \in I, k \in K)$$

$$\alpha_i : \text{手術 } i \text{ に重複している麻酔科医の人数} \quad (i \in I)$$

$$\beta_i : \text{手術 } i \text{ に重複している看護師の人数} \quad (i \in I)$$

$$UK : \text{1人の看護師が担当する手術時間と手術件数の} \\ \text{重み付き和の上限}$$

$$LK : \text{1人の看護師が担当する手術時間と手術件数の} \\ \text{重み付き和の下限}$$

$$UJ : \text{1人の麻酔科医が担当する手術時間と手術件数の} \\ \text{重み付き和の上限}$$

$$LJ : \text{1人の麻酔科医が担当する手術時間と手術件数の} \\ \text{重み付き和の下限}$$

## 3.2 定式化

### 目的関数

$$\begin{aligned} \min. \quad & \eta_1 \cdot \sum_{i \in I} (AM_i + PM_i + AD_i) \\ & + \eta_2 \cdot \sum_{i \in I} (\alpha_i + \beta_i) - \eta_3 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ij} \\ & + \eta_4 \cdot (UJ - LJ + UK - LK) \end{aligned} \quad (1)$$

### 制約条件

$$n - \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{iht} - d_i - M \cdot AM_i \leq 0 \quad (i \in I) \quad (2)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_i) w_{iht} - n - M \cdot PM_i < 0 \quad (i \in I) \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_i) w_{iht} - n + M \cdot AD_i^1 \geq 0 \quad (i \in I) \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{iht} + d_i - n - M \cdot AD_i^2 < 0 \quad (i \in I) \quad (5)$$

$$AD_i^1 + AD_i^2 - 1 \leq AD_i \quad (i \in I) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_{i'}) w_{iht} - \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{i'ht} \\ - d_i + M \cdot s_{ii'}^1 \geq 0 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_i) w_{iht} - \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{i'ht} \\ - d_{i'} + M \cdot s_{ii'}^2 \geq 0 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{iht} + d_i - \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_i) \cdot w_{i'ht} \\ + M \cdot s_{ii'}^3 > 0 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} t \cdot w_{i'ht} + d_{i'} - \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} (t - D_i) w_{iht} + M \cdot s_{ii'}^4 > 0 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \quad (10)$$

$$s_{ii'}^1 + s_{ii'}^3 = 1 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \quad (11)$$

$$s_{ii'}^2 + s_{ii'}^4 = 1 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \quad (12)$$

$$s_{ii'} = s_{ii'}^1 + s_{ii'}^2 - 1 \quad (i \leq i'; i, i' \in I) \quad (13)$$

$$\sum_{t \in T} (t + d_i) w_{iht} \leq U \quad (i \in I, h \in H) \quad (14)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} V_{il}(t - D_i) w_{iht} \geq S_l \quad (V_{il} = 1, i \in I, l \in L) \quad (15)$$

$$\sum_{t \in T} V_{il}(t - D_i) w_{iht} \geq \sum_{t \in T} V_{il}(n - FA_{lh}) w_{iht} \quad (V_{il} = 1, FA_{lh} = 1; i \in I, l \in L, h \in H) \quad (16)$$

$$\sum_{t \in T} V_{il}(t + d_i) w_{iht} \leq FP_{lh} + n \quad (V_{il} = 1, FP_{lh} = 1; i \in I, l \in L, h \in H) \quad (17)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} V_{il}(d_i + D_i) w_{iht} \leq FA_{lh} + FP_{lh} \quad (V_{il} = 1, FA_{lh} + FP_{lh} \neq 1, l \in L, h \in H) \quad (18)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} w_{iht} = 1 \quad (i \in I) \quad (19)$$

$$w_{iht} + w_{i'ht} \leq 2 - s_{ii'} \quad (i' > i; i, i' \in I, h \in H) \quad (20)$$

$$\sum_{j \in J_1} y_{ij} \leq M(1 - PM_i) \quad (i \in I) \quad (21)$$

$$\sum_{j \in J_2} y_{ij} \leq M(1 - AM_i) \quad (i \in I) \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = bj_i \quad (i \in I) \quad (23)$$

$$\sum_{j \in J_1} z_{ij} \leq M(1 - PM_i) \quad (i \in I) \quad (24)$$

$$\sum_{j \in J_2} z_{ij} \leq M(1 - AM_i) \quad (i \in I) \quad (25)$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq c_i \quad (i \in I) \quad (26)$$

$$AM_i \geq pj_{ij} \quad (aj_i \leq rj_i; i \in I, j \in J_1) \quad (27)$$

$$PM_i \geq pj_{ij} \quad (aj_i \leq rj_i; i \in I, j \in J_2) \quad (28)$$

$$pj_{ij} = 1 \quad (aj_i \leq rj_i; i \in I, j \in J_3) \quad (29)$$

$$y_{ij} \leq pj_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad (30)$$

$$z_{ij} \leq pj_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad (31)$$

$$y_{i'j} + z_{ij} \leq 2 - s_{ii'} \quad (i \leq i'; i, i' \in I, j \in J) \quad (32)$$

$$y_{ij} + z_{i'j} \leq 2 - s_{ii'} \quad (i \leq i'; i, i' \in I, j \in J) \quad (33)$$

$$y_{ij} + y_{i'j} \leq 2 - s_{ii'} + \alpha_i \quad (i \leq i'; i, i' \in I, j \in J, \alpha_i \in \mathbb{N}) \quad (34)$$

$$\sum_{k \in K_1} x_{ik}^u \leq M(1 - PM_i) \quad (i \in I, u = 0, 1) \quad (35)$$

$$\sum_{k \in K_2} x_{ik}^u \leq M(1 - AM_i) \quad (i \in I, u = 0, 1) \quad (36)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik}^u = bk_i^u \quad (i \in I, u = 0, 1) \quad (37)$$

$$AM_i \geq pk_{ik}^u \quad (ak_i^u \leq rk_{ik}^u; i \in I, k \in K_1, u = 0, 1) \quad (38)$$

$$PM_i \geq pk_{ik}^u \quad (ak_i^u \leq rk_{ik}^u; i \in I, k \in K_2, u = 0, 1) \quad (39)$$

$$pk_{ik}^u = 1 \quad (ak_i^u \leq rk_{ik}^u; i \in I, k \in K_3, u = 0, 1) \quad (40)$$

$$x_{ik}^u \leq pk_{ik}^u \quad (i \in I, k \in K, u = 0, 1) \quad (41)$$

$$\sum_{u=0}^1 (x_{ik}^u + x_{i'k}^u) \leq 2 - s_{ii'} + \beta_i \quad (i \leq i'; i, i' \in I, k \in K, \beta_i \in \mathbb{N}) \quad (42)$$

$$w_{iht} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, h \in H, t \in T) \quad (43)$$

$$x_{ik}^u, pk_{ik}^u \in \{0, 1\} \quad (i \in I, k \in K, u = 0, 1) \quad (44)$$

$$y_{ij}, z_{ij}, pj_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (45)$$

$$AM_i, PM_i, AD_i \in \{0, 1\} \quad (i \in I) \quad (46)$$

$$s_{ii'} \in \{0, 1\} \quad (i, i' \in I) \quad (47)$$

## 各式の説明

- (2) 午前に行われる手術の制約  
 (3) 午後に行われる手術の制約  
 (4)(5)(6) 全日に行われる手術の制約  
 (7) 手術  $i'$  の開始時刻が手術  $i$  の終了時刻より早いかを判別する制約  
 (8) 手術  $i$  の開始時刻が手術  $i'$  の終了時刻より早いかを判別する制約  
 (9) 手術  $i$  の終了時刻が手術  $i'$  の開始時刻より早いかを判別する制約  
 (10) 手術  $i'$  の終了時刻が手術  $i$  の開始時刻より早いかを判別する制約  
 (11)  $s_1$  と  $s_3$  は片方のみ 1 となる制約  
 (12)  $s_2$  と  $s_4$  は片方のみ 1 となる制約  
 (13)  $s_1$  と  $s_2$  が両方 1 となるとき手術  $i \cdot i'$  は重複しているという制約  
 (16) 診療科  $l$  が手術室  $h$  を使い始めることが可能な時刻を定める制約  
 (17) 診療科  $l$  が手術室  $h$  を使うことが可能な最終時刻を定める制約  
 (18) 診療科  $l$  の手術  $i$  が手術室  $h$  を使用する時間の制約  
 (19) 同じ手術を同時に行わない制約  
 (20) 手術が同時に行われているとき手術室はそのうちの 1 つにしか割り当ることができない制約  
 (21) 午前勤務の麻酔科医は午後の手術に割り当ることができない制約  
 (22) 午後勤務の麻酔科医は午前の手術に割り当ることができない制約  
 (23) 1 日で麻酔科医の割り当てる人数と必要人数は等しい  
 (24) 午前勤務の補助麻酔科医は午後の手術に割り当ることができない制約  
 (25) 午後勤務の補助麻酔科医は午前の手術に割り当ることができない制約  
 (26) 1 日で補助麻酔科医の割り当てる人数と必要人数は等しい  
 (27)(28)(29) 午前・午後・全日に行われる手術に割り当てられる麻酔科医  $j$  は割り当て可能であるか判別する制約  
 (30) 手術に割り当てられる麻酔科医  $j$  は割り当て可能なものである制約  
 (31) 手術に割り当てられる補助麻酔科医は割り当て可能なものである制約  
 (32)(33) 1 人の麻酔科医は時間の重なっている手術に対して担当麻酔科医・補助麻酔科医を兼ねることはできない

- (34) 手術が同時に行われているとき麻酔科医はそのうちの 1 つにしか割り当てられない制約  
 (35) 午前勤務の看護師は午後の手術に割り当ることができない制約  
 (36) 午後勤務の看護師は午前の手術に割り当ることができない制約  
 (37) 1 日で看護師の割り当てる人数と必要人数は等しい  
 (38) 午前に行われる手術に割り当てられる看護師  $k$  は割り当て可能であるか判別する制約  
 (39) 午後に行われる手術に割り当てられる看護師  $k$  は割り当て可能であるか判別する制約  
 (40) 全日に行われる手術に割り当てられる看護師  $k$  は割り当て可能であるか判別する制約  
 (41) 手術に割り当てられる看護師  $k$  は割り当て可能なものである制約  
 (42) 手術が同時に行われているとき看護師  $k$  はそのうちの 1 つにしか割り当てられない制約  
 (43)(44)(45)(46)(47) バイナリ制約

## 4 実行結果

### 4.1 システムの概要

「麻酔科医と看護師の勤務を考慮した手術のスケジューリングシステム」の実現に向け、前章の定式化を図 1 の流れで計算する Python プログラムを作成する。

はじめに、事前にデータが設定された CSV ファイルを読み込み、データをリストや定数へ格納する。その後、数理最適化ソルバー：Gurobi を用いて前章の定式化の計算を行い、結果を CSV ファイルへ出力する。

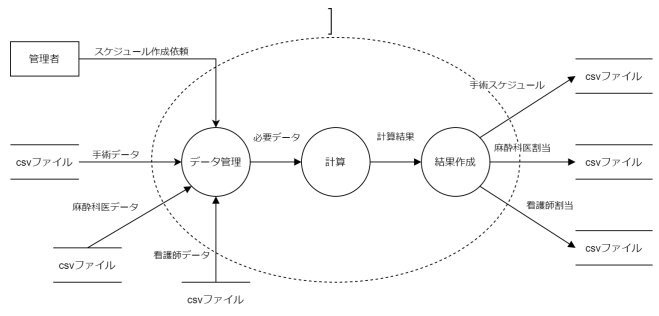


図 1 計算プログラム

### 4.2 サンプル問題

実際の病院のサンプルデータを用いて作成した Python プログラムを実行する。主に使用するデータは次に示す。

#### 使用データ

- 手術件数：29 件
- 手術室数：13 室
- 診療科数：8 種類

- 麻酔科医人数：15 人
- 看護師人数：46 人
- 時刻範囲：8 時 45 分から 19 時
- 閉室時刻：17 時 30 分
- 時刻 1 単位：15 分
- 準備時間：15 分

加えて、診療科が各手術室を使用できる時間帯を表 1 に、各手術の診療科、インターバル、必要な麻酔科医・看護師は表 2 に示す。さらに、目的関数の各項の重みはそれぞれ、 $\eta_1 = 3$ ,  $\eta_2 = 7$ ,  $\eta_3 = 0.1$ ,  $\eta_4 = 0.1$  とする。

今回は、割当人数の重複を避けるために  $\eta_2$  は重みを大きくし、優先度の低い補助麻酔科医の割当の重み  $\eta_3$  や公平性の重み  $\eta_4$  は小さくした。また、公平性の制約のパラメータ・重みは先行研究にて使用された値と同様に設定する。

表 1 診療科の手術室使用可能時間帯

○：全日使用可能, △：午前のみ使用可能, ▲：午後のみ使用可能, ×：使用不可能

| 手術室 | 診療科 |       |      |      |      |      |    |      |
|-----|-----|-------|------|------|------|------|----|------|
|     | 外科  | 脳神経外科 | 心臓外科 | 整形外科 | 形成外科 | 乳腺外科 | 眼科 | 産婦人科 |
| 1   | ×   | ×     | ×    | ○    | ×    | ×    | ×  | ×    |
| 2   | ×   | ×     | ○    | ×    | ×    | ×    | ×  | ×    |
| 3   | ○   | ▲     | ×    | ▲    | △    | ○    | ▲  | ×    |
| 4   | ○   | ×     | ×    | ×    | △    | ×    | ▲  | ▲    |
| 5   | ▲   | ×     | ×    | ▲    | ×    | ×    | ×  | ○    |
| 6   | ○   | ×     | ×    | ○    | △    | ▲    | ×  | ○    |
| 7   | ○   | ×     | ×    | ×    | ×    | ○    | ×  | ○    |
| 8   | ○   | ×     | ×    | ×    | ×    | △    | ×  | ○    |
| 9   | ×   | ×     | ×    | ×    | ×    | ×    | ○  | ×    |
| 10  | ×   | ×     | ×    | ○    | ×    | ×    | ×  | ×    |
| 11  | ×   | ○     | ×    | ×    | ×    | ×    | ×  | ×    |
| 12  | ○   | ×     | ×    | ×    | ×    | ×    | ×  | ×    |
| 13  | ○   | ×     | ×    | ×    | ×    | ×    | ×  | ×    |

表 2 手術データ

| 手術 | 診療科   | 猶予時間 (分) | 麻酔科医 |    |       |      | 看護師 |       |     |  |
|----|-------|----------|------|----|-------|------|-----|-------|-----|--|
|    |       |          | 必要人数 |    | 必要レベル | 必要人数 |     | 必要レベル |     |  |
|    |       |          | 担当   | 補助 |       | 器具出し | 外回り | 器具出し  | 外回り |  |
| 1  | 乳腺外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 2  | 外科    | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 3  | 乳腺外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 4  | 整形外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 5  | 産婦人科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 6  | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 7  | 形成外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 8  | 外科    | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 9  | 整形外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 10 | 産婦人科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 11 | 脳神経外科 | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 12 | 心臓外科  | 30       | 1    | 2  | 3     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 13 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 14 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 15 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 16 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 17 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 18 | 整形外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 19 | 外科    | 15       | 1    | 1  | 2     | 2    | 2   | 3     | 3   |  |
| 20 | 脳神経外科 | 15       | 1    | 2  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 21 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 22 | 整形外科  | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 23 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 24 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 25 | 外科    | 15       | 1    | 1  | 2     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 26 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 27 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 28 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |
| 29 | 眼科    | 0        | 0    | 0  | 1     | 1    | 1   | 2     | 2   |  |

以下の計算環境で Python プログラムを実行したときの実行時間を計測する。

## 計算環境

- OS：Microsoft Windows10

- CPU：Intel Core i5
- RAM：8GB
- 最適化ソフトウェア：Gurobi バージョン 9.1.2

## 実行時間

- データ・制約式の読み込み時間：13.343 秒
- 計算時間：124.60 秒
- 総実行時間：137.943 秒

本研究では実用的な計算時間で実行可能解を得ることを目標としているため、相対誤差の許容範囲を 20 % 以下に設定し以上の実行時間となった。そのうえ、相対誤差は 2.73 % であったため、最適解とそれほど大きな誤差はないといえる。

## 4.3 実行結果と考察

本節は手術のスケジューリングと看護師・麻酔科医の割当を同時に行うことができているかどうかを確認する。そこで、(I) 手術スケジューリング、(II) 麻酔科医の割当、(III) 看護師の割当、それぞれの以下の項目をすべて満たしていれば、不適切でない結果を得られたといえる。

### (I) 手術スケジューリング

- 手術件数が正しい
- 実施時間が重複する手術は使用する手術室が重複していない
- 手術が行われる時間と時間帯（午前・午後・全日）は正しく対応している
- 手術で使用する手術室は診療科が使用できる手術室である
- 診療科の最早開始時刻以降から開始し、閉室時刻以内にスケジューリングされている

### (II) 麻酔科医の割当

- 麻酔科医は必要（または推奨）人数と必要レベルを満たしている
- 実施時間が重複する手術に対して、担当麻酔科医は重複していない
- 実施時間が重複する手術に対して、担当麻酔科医と補助麻酔科医を兼ねていない
- 麻酔科医は勤務可能な時間帯に割り当てられている

### (III) 看護師の割当

- 看護師はそれぞれの役割で必要人数と必要レベルを満たしている
- 実施時間が重複する手術に対して、役割別看護師は重複していない
- 看護師は勤務可能な時間帯に割り当てられている

表 3 手術スケジューリング・麻酔科医・看護師割当結果

| 手術 | 手術室 | 診療科   | 実施時刻  |       |     | 麻酔科医 |     |     |     | 看護師  |     |      |     |
|----|-----|-------|-------|-------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|
|    |     |       | 入室    | 退室    | 時間帯 | 担当   |     | 補助  |     | 器具出し |     | 外回り  |     |
|    |     |       |       |       |     | 番号   | レベル | 番号  | レベル | 番号   | レベル | 番号   | レベル |
| 1  | 7   | 乳腺外科  | 14:30 | 17:30 | 午後  | 10   | 2   | 3   | 3   | 5    | 3   | 46   | 2   |
| 2  | 12  | 外科    | 9:45  | 16:45 | 全日  | 11   | 3   | 7   | 4   | 23   | 3   | 3    | 3   |
| 3  | 3   | 乳腺外科  | 8:45  | 13:15 | 全日  | 3    | 3   |     |     | 10   | 3   | 16   | 3   |
| 4  | 1   | 整形外科  | 13:30 | 17:00 | 午後  | 4    | 3   | 7   | 4   | 38   | 4   | 21   | 3   |
| 5  | 7   | 産婦人科  | 9:15  | 13:45 | 全日  | 5    | 4   | 2   | 3   | 20   | 2   | 30   | 3   |
| 6  | 3   | 眼科    | 16:30 | 17:15 | 午後  |      |     |     |     | 43   | 3   | 11   | 3   |
| 7  | 4   | 形成外科  | 8:45  | 12:00 | 午前  | 15   | 3   | 2   | 3   | 46   | 2   | 13   | 3   |
| 8  | 6   | 外科    | 11:45 | 16:15 | 全日  | 1    | 3   |     |     | 41   | 3   | 9    | 3   |
| 9  | 6   | 整形外科  | 8:45  | 11:45 | 午前  | 1    | 3   | 2   | 3   | 11   | 3   | 36   | 2   |
| 10 | 5   | 産婦人科  | 11:15 | 14:45 | 全日  | 6    | 3   | 2   | 3   | 8    | 3   | 22   | 3   |
| 11 | 11  | 脳神経外科 | 9:00  | 12:00 | 午前  | 13   | 3   | 2   | 3   | 6    | 3   | 43   | 3   |
| 12 | 2   | 心臓外科  | 10:00 | 17:15 | 全日  | 8    | 3   | 7   | 4   | 35   | 4   | 26   | 3   |
| 13 | 3   | 眼科    | 13:15 | 14:00 | 午後  |      |     |     |     | 29   | 3   | 18   | 3   |
| 14 | 9   | 眼科    | 16:30 | 17:15 | 午後  |      |     |     |     | 27   | 3   | 33   | 3   |
| 15 | 3   | 眼科    | 14:45 | 15:30 | 午後  |      |     |     |     | 37   | 3   | 31   | 3   |
| 16 | 9   | 眼科    | 13:30 | 14:15 | 午後  |      |     |     |     | 10   | 3   | 5    | 3   |
| 17 | 9   | 眼科    | 11:30 | 12:15 | 午前  |      |     |     |     | 29   | 3   | 37   | 3   |
| 18 | 10  | 整形外科  | 9:45  | 14:45 | 全日  | 9    | 3   |     |     | 25   | 3   | 19   | 2   |
| 19 | 8   | 外科    | 8:45  | 14:45 | 全日  | 12   | 2   |     |     | 1,4  | 4,4 | 2,15 | 4,3 |
| 20 | 11  | 脳神経外科 | 12:30 | 16:30 | 全日  | 15   | 3   | 2,7 | 3,4 | 12   | 2   | 13   | 3   |
| 21 | 4   | 眼科    | 13:00 | 13:45 | 午後  |      |     |     |     | 43   | 3   | 40   | 3   |
| 22 | 1   | 整形外科  | 9:30  | 13:15 | 全日  | 4    | 3   | 2   | 3   | 28   | 3   | 18   | 3   |
| 23 | 9   | 眼科    | 12:15 | 13:00 | 午前  |      |     |     |     | 31   | 3   | 40   | 3   |
| 24 | 4   | 眼科    | 14:15 | 15:00 | 午後  |      |     |     |     | 6    | 3   | 20   | 2   |
| 25 | 13  | 外科    | 9:45  | 14:45 | 全日  | 14   | 2   |     |     | 7    | 3   | 27   | 3   |
| 26 | 3   | 眼科    | 14:00 | 14:45 | 午後  |      |     |     |     | 29   | 3   | 33   | 3   |
| 27 | 9   | 眼科    | 14:15 | 15:00 | 午後  |      |     |     |     | 10   | 3   | 40   | 3   |
| 28 | 4   | 眼科    | 16:45 | 17:30 | 午後  |      |     |     |     | 29   | 3   | 6    | 3   |
| 29 | 9   | 眼科    | 9:00  | 10:00 | 午前  |      |     |     |     | 42   | 3   | 33   | 3   |



図 2 手術スケジュール

表 1, 表 2, 表 3 より (I), (II), (III) はすべて適切な結果であった。よって、本研究の目標である、手術スケジューリングと麻酔科医・看護師の割当を同時に行うことができた。

さらに実用性を高めるための今後の課題を 3 つ挙げる。

1 つ目は、補助麻酔科医の担当手術件数の制限である。今回の結果では、補助麻酔科医として複数の手術を同時に担当しているため、制約式の追加や、公平性の制約式のパラメータ値を見直す必要がある。

2 つ目は、最適なパラメータの設定を行うことである。現時点では、目的関数の各項の重みや、割当の公平性を考える制約のパラメータは手動で設定する必要がある。最適なパラメータを探索することは難解である。よって、最適なパラメータを探索する手法、グリッドサーチを行うことで、より扱いやすくなるだろう。

3 つ目は、看護師のスキルアップを考慮した一週間単位のスケジュールを作成することである。そこで新たに、1 人が 1 週間に担当する手術の種類のばらつきを考慮すれば、麻酔科医・看護師のスキルアップに繋がるだろう。そのため、1 人が 1 週間に担当する手術の種類のばらつきをどの程度にするか担当者と検討すると良い。

## 5 おわりに

本研究では、麻酔科医と看護師の勤務を考慮した手術のスケジューリング問題を解決し、担当者の負担軽減が望まれる。また、先行研究よりもさらに利便性を向上させたシステムを作成した。しかし、前節で述べた通り課題も残っている。

これらの課題を解決し、本システムを実際の現場で導入することが今後の目標である。

実際の医療現場に導入するために、現場の声を聞き、希望に沿ったシステムを作成することで担当者が扱いやすくなるように努めたい。

## 参考文献

- [1] 伊藤真理, 医療機関のスケジューリング問題に対するオペレーションズ・リサーチを用いた解決方法. 南山大学大学院 理工学研究科 2016 年度 博士論文 (2016)
- [2] 丹羽亮介, 杉本涼: 手術への麻酔科医・看護師の自動割当システムの試作. 南山大学 理工学部 システム数理学科 2020 年度 卒業論文 (2020)