

公平性を考慮した麻酔科医のシフト作成問題

M2020SS005 角大輝

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

技術の発展によって、医療機関では先端技術の活用が拡がり、医療 AI の活躍など近年著しい発展が見られる。そのような技術の一つであるオペレーションズ・リサーチを用いた問題解決の手法は、医療現場の効率化や研修医教育の質の向上に役立っている。しかし、医療従事者が実際の現場で行う勤務には、麻酔科医のシフトスケジュール作成問題などの、未だ手作業で行われているスケジューリング問題も数多くある。手作業であるがため、作成に手間や時間がかかっていることや、スケジュールが条件を満たしていないといった問題がある [2, 3, 4]。

スケジューリング問題を手作業で行うことの問題点として、シフトスケジュールの作成に大きな労力と時間、人員を要している点、作成したスケジュールの妥当性、公平性などの観点から評価されるシフトスケジュールの質についての3点が主に挙げられる。

問題の解決と、医療現場の効率化やシフトスケジュールの質の向上に大きく貢献するうえで、市原らの研究 [1] では、昼と夜のシフトスケジュールをそれぞれ作成し、最適な勤務割り当てを行うことが可能な自動スケジューリングシステムの開発を行った。以前までは1か月分の勤務表の作成に1週間かかっていた手作業でのスケジューリングが、システムを用いた自動最適化によってわずか1分程度で解決できるようになった。しかし、一方で、現場での実用化を目的とするうえで、医師や病院の有する勤務条件を満たすことだけを優先させていると、医師の勤務内容や勤務回数、勤務間隔などに差異が生じ、不公平なシフトスケジュールとなる可能性があった。

本研究では、スケジューリングの自動最適化に加えて公平性の観点に着目し、医師間における差異や偏りがなるべく生じないような工夫を施している。プログラムを作成するにあたり、担当者との打ち合わせを十分にを行い、現場の視点や考え方を取り入れた。この取り組みにより、公平性を考慮したスケジューリングの自動最適化の普及に繋がると考えている。

2 麻酔科医のシフトスケジューリング

2.1 問題の説明と条件

担当者との打合せをもとに、現場で要求される条件として次のような制約を考慮する。

- あらかじめ特定の日日にちに勤務内容や休みが決定している場合には、それを優先する。
- 夜間の当直勤務は医師への負担が大きいため、夜間当直勤務にカテゴライズされる勤務はその種類に関わらず一定の勤務間隔が空くようにする。
- 午前・午後・夜間それぞれの時間帯に各医師が担当する勤務は1つ以下にする。

- 各勤務に必要な人数分の医師を割り当てる。
- 各医師に勤務ごとの月の上下限回数を設ける。
- 勤務によっては負担が大きいものもあるため、勤務ごとに任意で勤務間隔を空けられるようにする。
- 勤務によっては前日や同日に夜間当直を行うことを避けるべき勤務もあるため、それを反映する。
- 午前・午後連続勤務を反映する。

2.2 公平化の重要性と条件

スケジューリング問題は、その問題の規模や条件によって様々な解が考え得るケースが存在する。過去の研究 [1, 4] では、解のうち、単純な割り付け回数の合計や割り付けの対象を最小化したものをスケジューリング問題の最適解としていた。しかし、現場での実用化の動きが進む中で、医師間の勤務内容や勤務回数、勤務間隔などにおいて実際は割り付け方に差異が生じており、不公平なシフトスケジュールとなっていた。

このような問題を解決することで、医師間での不公平さが無くなり、現場における実用性が向上する。また、勤務の間隔や負担も考慮することで、労働環境や労働効率の向上にも繋がる。

現場で要求される公平化条件は次の通りである。

- 平日・土曜日・休日のそれぞれにおける各勤務の合計割り付け回数について医師間で偏りがないようにスケジューリングする。
- 週単位での合計勤務回数について医師間で偏りがないようにスケジューリングする。
- 月単位での合計勤務回数について医師間で偏りがないようにスケジューリングする。
- 各勤務の月間割り付け回数が最大となる医師の割り付け回数を最小化する。
- 同一の医師に可能な限り午前・午後連続で勤務が割り付けようようにスケジューリングする。
- 各勤務の勤務日の間隔をなるべく空け、勤務日と休みの日の偏りがないようにスケジューリングする。
- 勤務ごとに設定された勤務負担度の月間合計値が医師間で偏りのないようにスケジューリングする。
- 特に負担の大きい勤務の割り付けが医師間で偏りのないようにスケジューリングする。

公平化条件の内容については第4節で改めて触れる。

3 麻酔科医のシフトスケジュール作成問題の定式化

3.1 記号の定義

集合

D : 医師とダミー医師を合わせた添字集合 $d \in D$

D_1 : ダミー医師を除いた医師の添字集合 $d \in D_1$
 D_2 : ダミー医師の添字集合 $D_2 = \{|D_1|+1, \dots, |D_1|+|D_2|\}$
 S : 勤務種類全体の集合 $s \in S$
 S_d : 日中勤務の集合 $s \in S_d$
 S_n : 夜間勤務の集合 $s \in S_n$
 S_a : 自動割り付け対象勤務の集合 $s \in S_a$
 S_m : 手動割り付け対象勤務の集合 $s \in S_m$
 S_2 : 午前午後連続勤務 (勤務 ID=2) の集合 $s \in S_2$
 S_{12} : 夜間当直勤務 (勤務 ID=12) の集合 $s \in S_{12}$
 S_h : 勤務負担度が 4 以上の勤務の集合 $s \in S_h$
 T : 日にちの集合 $t \in T$
 T_w : 平日の集合 $t \in T_w$
 T_s : 土曜日の集合 $t \in T_s$
 T_h : 日曜日・祝日の集合 $t \in T_h$
 T_n : シフト作成月の最後の n 日を除いた日にちの集合
 T_{n_s} : シフト作成月の最後の n_s 日を除いた日にちの集合
 I_i : 第 i 週の日日にちの集合

定数

w_i : 目的関数における各項の優先順位を決める重み
 $i \in \{1, 2, \dots, 10\}$

n : 夜間当直勤務全体に設ける最低勤務間隔

n_s : 勤務 s の最低勤務間隔

maw_{ds}^- : 医師 d が 1 か月間に担当すべき平日の勤務 s の回数の下限値

maw_{ds}^+ : 医師 d が 1 か月間に担当可能な平日の勤務 s の回数の上限値

mas_{ds}^- : 医師 d が 1 か月間に担当すべき土曜の勤務 s の回数の下限値

mas_{ds}^+ : 医師 d が 1 か月間に担当可能な土曜の勤務 s の回数の上限値

mah_{ds}^- : 医師 d が 1 か月間に担当すべき休日の勤務 s の回数の下限値

mah_{ds}^+ : 医師 d が 1 か月間に担当可能な休日の勤務 s の回数の上限値

w_{n_s} : 平日における勤務 s の必要人数

s_{n_s} : 土曜日における勤務 s の必要人数

h_{n_s} : 日曜日・祝日における勤務 s の必要人数

b_s : 勤務 s の勤務負担度

$fx_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の午前に勤務 } s \text{ の事前予定を持つ} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$fy_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の午後に勤務 } s \text{ の事前予定を持つ} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$fz_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の夜間に勤務 } s \text{ の事前予定を持つ} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$ry_s = \begin{cases} 1: \text{勤務 } s \text{ を行う場合に前日の当直勤務を行わない} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$rt_s = \begin{cases} 1: \text{勤務 } s \text{ を行う場合に当日の当直勤務を行わない} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

決定変数

$\alpha, \beta, \delta_d, \gamma_{1s}, \gamma_{2s}, \gamma_{3s}, \epsilon, \epsilon_2, \zeta_s$: 目的関数における公平化のための変数 $d \in D_1, s \in S_a$

$x_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の午前に勤務 } s \text{ を行う} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$y_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の午後に勤務 } s \text{ を行う} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

$z_{dts} = \begin{cases} 1: \text{医師 } d \text{ が日にち } t \text{ の夜間に勤務 } s \text{ を行う} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$

3.2 定式化

目的関数

$$\begin{aligned}
 \min \quad & w_1\alpha + w_2\beta + w_3 \sum_{d \in D_1} \delta_d + w_4\gamma_{1s} + w_5\gamma_{2s} \\
 & + w_6\gamma_{3s} + w_7\epsilon + w_8\epsilon_2 + w_9 \sum_{s \in S_a} \zeta_s \\
 & + w_{10} \sum_{d \in D_2} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} d(x_{dts} + y_{dts} + z_{dts})
 \end{aligned} \tag{1}$$

制約条件

$$x_{dts} \geq fx_{dts}, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \tag{2}$$

$$y_{dts} \geq fy_{dts}, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \tag{3}$$

$$z_{dts} \geq fz_{dts}, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_n \tag{4}$$

$$\sum_{t'=t}^{t+n} \sum_{s \in S_{12}} z_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_n \tag{5}$$

$$\sum_{s \in S_d} x_{dts} \leq 1, \quad d \in D, t \in T \tag{6}$$

$$\sum_{s \in S_d} y_{dts} \leq 1, \quad d \in D, t \in T \tag{7}$$

$$\sum_{s \in S_n} z_{dts} \leq 1, \quad d \in D, t \in T \tag{8}$$

$$\sum_{d \in D} x_{dts} = w_{n_s}, \quad t \in T_w, s \in S_d \tag{9}$$

$$\sum_{d \in D} y_{dts} = w_{n_s}, \quad t \in T_w, s \in S_d \tag{10}$$

$$\sum_{d \in D} z_{dts} = w_{n_s}, \quad t \in T_w, s \in S_n \tag{11}$$

$$\sum_{d \in D} x_{dts} = s_{n_s}, \quad t \in T_s, s \in S_d \tag{12}$$

$$\sum_{d \in D} y_{dts} = s_{n_s}, \quad t \in T_s, s \in S_d \tag{13}$$

$$\sum_{d \in D} z_{dts} = s_{n_s}, \quad t \in T_s, s \in S_n \tag{14}$$

$$\sum_{d \in D} x_{dts} = h_{n_s}, \quad t \in T_h, s \in S_d \tag{15}$$

$$\sum_{d \in D} y_{dts} = h_{n_s}, \quad t \in T_h, s \in S_d \tag{16}$$

$$\sum_{d \in D} z_{dts} = h_{n_s}, \quad t \in T_h, s \in S_n \tag{17}$$

$$maw_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_w} x_{dts} \leq maw_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \tag{18}$$

$$maw_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_w} y_{dts} \leq maw_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \tag{19}$$

$$maw_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_w} z_{dts} \leq maw_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_n \tag{20}$$

$$mas_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_s} x_{dts} \leq mas_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \tag{21}$$

$$mas_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_s} y_{dts} \leq mas_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \tag{22}$$

$$mas_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_s} z_{dts} \leq mas_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_n \tag{23}$$

$$mah_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_h} x_{dts} \leq mah_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \quad (24)$$

$$mah_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_h} y_{dts} \leq mah_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_d \quad (25)$$

$$mah_{ds}^- \leq \sum_{t \in T_h} z_{dts} \leq mah_{ds}^+, \quad d \in D_1, s \in S_n \quad (26)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+n_s} x_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_{n_s}, s \in S_d \quad (27)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+n_s} y_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_{n_s}, s \in S_d \quad (28)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+n_s} z_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_{n_s}, s \in S_n \quad (29)$$

$$x_{dts} + \sum_{t'=t+1}^{t+n_s} y_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_{n_s}, s \in S_d \quad (30)$$

$$y_{dts} + \sum_{t'=t+1}^{t+n_s} x_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T_{n_s}, s \in S_d \quad (31)$$

$$ry_s x_{dts} + \sum_{s' \in S_n} z_{d(t-1)s'} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \quad (32)$$

$$ry_s y_{dts} + \sum_{s' \in S_n} z_{d(t-1)s'} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \quad (33)$$

$$rt_s x_{dts} + \sum_{s' \in S_n} z_{dts'} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \quad (34)$$

$$rt_s y_{dts} + \sum_{s' \in S_n} z_{dts'} \leq 1, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_d \quad (35)$$

$$x_{dts} = y_{dts}, \quad d \in D, t \in T, s \in S_2 \quad (36)$$

$$\frac{w_{n_s}|T_w|}{|D_1|} \leq \sum_{t \in T_w} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq 1 + \frac{w_{n_s}|T_w|}{|D_1|}, \quad d \in D_1, s \in S_a \quad (37)$$

$$\frac{s_{n_s}|T_s|}{|D_1|} \leq \sum_{t \in T_s} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq 1 + \frac{s_{n_s}|T_s|}{|D_1|}, \quad d \in D_1, s \in S_a \quad (38)$$

$$\frac{h_{n_s}|T_h|}{|D_1|} \leq \sum_{t \in T_h} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq 1 + \frac{h_{n_s}|T_h|}{|D_1|}, \quad d \in D_1, s \in S_a \quad (39)$$

$$\sum_{t \in I_i} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq \alpha + \sum_{t \in I_i} \frac{w_{n_s}|T_w| + s_{n_s}|T_s| + h_{n_s}|T_h|}{4|D_1|}, \quad d \in D_1, s \in S_a \quad (40)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S_a} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq \beta, \quad d \in D_1 \quad (41)$$

$$-\delta_d \leq x_{dts} - y_{dts} \leq \delta_d, \quad d \in D_1, t \in T, s \in S_a \quad (42)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+[k]} x_{dt's} \leq 1 + \frac{\gamma_{1s}}{b_s}, \quad d \in D_1, t \in 1, \dots, T - [k], s \in S_a \quad (43)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+[k]} y_{dt's} \leq 1 + \frac{\gamma_{2s}}{b_s}, \quad d \in D_1, t \in 1, \dots, T - [k], s \in S_a \quad (44)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+[k]} z_{dt's} \leq 1 + \frac{\gamma_{3s}}{b_s}, \quad d \in D_1, t \in 1, \dots, T - [k], s \in S_a \quad (45)$$

ただし, $k = \frac{|D_1 T|}{w_{n_s}|T_w| + s_{n_s}|T_s| + h_{n_s}|T_h|}$ とする.

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S} b_s (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq \epsilon, \quad d \in D_1 \quad (46)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S_h} b_s (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq \epsilon_2, \quad d \in D_1 \quad (47)$$

$$\sum_{t \in T} (x_{dts} + y_{dts} + z_{dts}) \leq \zeta_s, \quad d \in D_1, s \in S_a \quad (48)$$

$$x_{dts} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, t \in T, s \in S_d \quad (49)$$

$$y_{dts} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, t \in T, s \in S_d \quad (50)$$

$$z_{dts} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, t \in T, s \in S_n \quad (51)$$

$$\delta_d \in \{0, 1\}, \quad d \in D_1 \quad (52)$$

$$\alpha, \beta, \delta_d, \gamma_{1s}, \gamma_{2s}, \gamma_{3s}, \epsilon, \epsilon_2, \zeta_s \geq 0 \quad (53)$$

式の説明

(1) ダミー医師に割り当てる勤務回数と, 公平化のための変数の総和を最小化する

(2)-(4) 臨時予定がある場合, 指定日に臨時予定を与える

(5) 夜間当直全体において最低勤務間隔を空ける

(6)-(8) 各時間帯に行える勤務数は1つまで

(9)-(17) 各勤務に必要な人数を割り当てる

(18)-(26) 各勤務の合計は月の上限, 下限に従う

(27)-(31) 勤務ごとに最低勤務間隔を空ける

(32)-(33) 前日当直勤務を避ける当番勤務フラグ

(34)-(35) 当日当直勤務を避ける当番勤務フラグ

(36) 午前午後連続勤務

(37)-(39) 勤務別における割り付け回数の公平化

(40) 週単位の勤務回数の公平化

(41) 月単位の勤務回数の公平化

(42) 日単位でなるべく同じ勤務内容を行う

(43)-(45) 勤務間隔の均等化

(46) 勤務負担度の公平性

(47) 特に負担の大きい勤務の公平性

(48) 各勤務の割り付け最大回数を最小化

(49)-(52) バイナリ制約

(53) 非負制約

公平化のための制約である式(37)-(48)については次節で具体的に述べる.

4 公平性を考慮するための工夫

以下に, 定式化に用いた公平性に関する制約式のうち, 特に工夫を施しているものを示す.

4.1 勤務別における回数の公平化

本研究において最も公平化の実現における重要度が高く, 一定の均等化条件を満たすように要求されている要素の一つが, 勤務別における割り付け回数の公平化である. この制約は自動割り付け対象勤務に対して適用する. 例えば, 5人の麻酔科医が勤務する病院において月20回OPE業務を割り付ける必要がある場合を想定する. このスケジューリングには, 医師1人に月20回分の勤務を全て担当する割り付け方法や, 医師2人に月10回ずつの勤務を割り付ける方法など, 様々なスケジューリング結果パターンが存在する. しかし, 公平性の観点では各医師にちょうど月4回ずつOPE業務が割り当たることが望ましい.

他の制約条件を満たすとともに回数の均等化を図るための工夫として, 初めにあらかじめ設定された必要人数から麻酔科医1人あたりの各勤務の平均月間勤務回数を算出する. そして, その平均値を基準にして, 各医師に割り当たる勤務が必ず特定の回数内に収まるようにして

いる。これにより、各医師の事前予定やあらゆる条件を満たしたうえで、自動割り付け対象勤務を公平に割り付けることが可能となった。

4.2 日単位でなるべく同じ勤務内容を行う

現場での実用化を想定する際、単に医師のシフトスケジュールの公平性だけを目的としていては、病院の動きとして非効率となってしまう場合もある。

例えば、医師 A の午前中に OPE 勤務、午後に来客勤務を割り当て、医師 B の午前中来客勤務、午後 OPE 勤務を割り当てるケースを想定する。病院としては、この割り当てでは午前と午後で医師の移動が必須であることや、午前勤務の引継ぎが正しく行われないと午後勤務に支障が出てしまう可能性があり、非効率である。この点を考慮し、午前と午後勤務を割り付ける際、なるべく同じ勤務内容が同一の医師に割り当たるような制約を与えている。

4.3 勤務間隔の均等化について

1 か月の中で同じ回数の勤務を全ての医師に割り付ける場合に、その割り付けが月の初週に固まっている医師や、月の最終週に固まっている医師、月内で適度に分散されている医師など様々では現場として不都合である。負担の観点においてこれは公平なスケジューリングとは呼べず、反対に、医師への負担を軽減する上で、現場としては勤務間隔がなるべく均等なスケジュールを要求している。各医師の勤務負担を考慮するために、勤務内容ごとの勤務間隔を医師間でなるべく公平にさせる制約を与えている。

4.4 勤務負担度の公平化について

各医師の勤務負担を考慮するために、割り付けの勤務回数だけでなく、勤務内容ごとに異なる負担の大きさについても考慮を行う。例えば、同じ割り付け回数 10 回の医師 A と医師 B を想定し、医師 A には勤務負担度が 1 である OPE 勤務 10 回、医師 B には勤務負担度 5 である夜間当直勤務 10 回を割り付ける場合を考える。勤務回数は医師 A、医師 B ともに同じ回数であるため、一見公平な割り付けに思われるが、勤務内容に着目すると医師 B の方が明らかに負担の大きい割り付けになっているといえる。このような割り付けは公平ではなく、実用性も低い。医師の負担を分散させるために、このような制約を与えている。

4.5 特に勤務負担度の大きい勤務の公平化について

担当者との打ち合わせにより、単純な勤務負担度の総和を公平化させるだけでなく、負担の大きい勤務の割り付けを分散させることが重要であることがわかった。例えば、勤務負担度が 1 の OPE 勤務 10 回と勤務負担度が 5 の夜間当直勤務 2 回の割り付けが必要であり、医師 A と医師 B に公平に割り付けるケースを想定する。この時、医師 A に OPE 勤務を 10 回、医師 B に夜間当直勤務を 2 回割り付けるようなスケジューリングは現場において望ましくない。負担の大きい勤務が同じ医師に割り付くこ

とを極力避け、各医師への勤務の分散が実現されたシフトスケジュールが要求されている。前述の例では、医師 A と医師 B ともに OPE 勤務 5 回と夜間当直勤務 1 回の割り付けを行うことが公平なスケジューリング結果である。このような結果を実現させるため、勤務負担度の公平化に加え、負担の大きい勤務のみを対象にした公平化制約を与えている。

5 計算機実験

このスケジューリングは Python 3.3.8 の最適化ソフトウェア MIPCL を用いて、解を求めている。問題の規模は、麻酔科医の人数:20 人、業務:15 種類、各定数:優先順位に従って設定、とした。以上のもとに計算した結果、計算時間は 1 分程度だった。ただし、与えるパラメータの値によって計算時間が変化するため、optimality gap を 1%、解を求めるための計算時間を 120 秒に制限している。なお、計算に使用した計算機環境は、CPU: Intel Core i7-10710U, RAM: 16.00GB, OS: Microsoft Windows 10 Home である。

6 おわりに

人員を扱うスケジューリング問題において、公平性の考慮は必要不可欠な要素である。公平性を考慮してスケジューリング問題を最適化することで、各医師に割り付ける勤務の回数や負担について最大限配慮することができ、実用性は大きく向上した。

今後は、作成したプログラムを実際に現場で利用してもらい、手作業によるスケジューリングとの差異や不具合について確認する。そして、フィードバックより得た知見をもとに、現場の利用者が意図した結果が得られるような定式化に向けて、更なる改善を行う予定である。

参考文献

- [1] Hiroyuki Ichihara, Yoshito Matsuzaki, Aino Ohnishi, Atsuo Suzuki and Atsushi Hashimoto, A scheduling system for anesthesiologists - A case study in Aichi medical university hospital -, Proc. of International Symposium on Scheduling 2017, スケジューリング学会, pp. 216-221, 2017.
- [2] Mari ITO, Aino ONISHI, Atsuo SUZUKI, Akira IMAMURA, and Takuya ITO, The Resident Scheduling Problem - A Case Study at Aichi Medical University Hospital -, 日本経営工学会論文誌, 日本経営工学会, 68 巻 (2017-2018)4E 号, pp. 259-272, 2018.
- [3] Mari Ito, Atsuo Suzuki and Yoshihiro Fujiwara, A Prototype Operating Room Scheduling System - A Case Study at Aichi Medical University Hospital -, Journal of Japan Industrial Management Association, 日本経営工学会, 67, pp. 202-214, 2016.
- [4] 鈴木敦夫, 周術期医療におけるオペレーションズ・リサーチ, 日本臨床麻酔学会誌, 日本臨床麻酔学会, Vol. 34, No. 5, pp. 684-691, 2014.