

スケジュールリングシステム開発についての実際研究

M2016SS008 松崎佳人

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

本研究では、スケジュールリングシステムを実際問題に適用させるための問題の定式化、システムの設計、実現法について研究を行う。実例として、コンビニエンスストア向けに弁当や総菜を製造・納品しているある食品製造業の工場に勤める従業員の出勤ローテーション、愛知医科大学病院の麻酔科に勤める医師のシフト、2つの要員計画問題について取り扱う。

近年、最適化技術が進歩しており [2]、一部の企業や医療機関では、問題の解決に貢献している [4]。しかし、いまだに多くの企業、医療機関では最適化の手法が浸透していない。そのため、多くの作業が、最適化の手法を用いることで効率化、時間の短縮ができるのにもかかわらず手作業で行われている。手作業で行うことで、手間や時間がかかり、効率的に業務をこなすことができていない。そこで、本研究では、実際の現場で発生しているスケジュールリング問題についての解決方法について取り扱う。

具体的には、「工場に勤める従業員の出勤ローテーションスケジュールリング問題」、「麻酔科医の当番・当直スケジュールリング問題」について取り扱う。これらの問題を解決するために、それぞれ最適化の手法を用いたシステムを開発・改修を行なった。このうち、愛知医科大学病院との共同研究である「麻酔科医のシフトスケジュールリングシステム」では、過去の大西 [3] の研究で開発されたシステムをもとに、不具合を解消し、利便性を向上させた。これらのシステムをそれぞれの現場に導入し、前述した問題である、スケジュールを作成することによってかかる時間や負担を軽減し、現場の効率を向上させる。

本研究では、開発するシステムについて、現場で実用化させることを目的とした。そのため、システムのユーザーインターフェースについては、各システムの利用者と慎重に打ち合わせを重ねた。現場で実用化させるために、作成したシステムが実際に使われる際に不具合はないか各システムの担当者とは度々協議し、システムの設計を行った。また、システムのレイアウトについては、現場で使用されている出勤表に近いものにした。そうすることで、システムの利用者に抵抗を感じさせにくいようにした。さらに、解を何度も修正できる対話型のシステムが現場で受け入れられているため [1, 3]、システムは対話型にした。このように、システムを現場で実用化させることを目標としてスケジュールリングシステムの作成を行った。

2 食品工場における要員計画問題

ある食品製造業の工場では、複数の部署が存在し、部署ごとに従業員の出勤予定である出勤ローテーションを作成している。原則、部署は弁当や総菜を調理する工程ごとに分かれているが、派遣社員のみで構成された部署も存在する。出勤ローテーションは各部署の担当者が、従

業員ごとに存在する以下の情報をもとに作成する。従業員の労働時間を表す「契約勤務時間情報」、従業員が働ける時間帯を表す「勤務可能時間帯情報」、休日を表す「公休日情報」と「有給情報」、従業員が担当できる勤務を表す「従業員勤務可能情報」、以上の情報に加えて、社員、アルバイト、派遣、外国人実習生など従業員ごとの属性を考慮した上で、各時刻に従業員と勤務を割り振り、24時間分の出勤ローテーションを1週間分作成している。

出勤ローテーションの作成手順として、最初に部署ごとに配属されている従業員を部署の各勤務に割り振る、そこで人数が不足した場合、派遣部署から派遣従業員を割り振ることで、人数の不足分を補っている。この、従業員の不足分を明確にし、不足分に派遣従業員を割り振る過程が、出勤ローテーションを手作業で作成する上での負担となっている。

工場内の特定の部署は、出勤ローテーションを作成する上で必要になる部署内の従業員がどの勤務を担当できるかという情報が作成者の頭の中になら存在せず、データとして管理されていない部署も存在した。そのため、出勤ローテーション作成作業が属人化している問題が生じていた。また、出勤ローテーションは各部署の担当者が独自に作成するため、部署ごとにレイアウトが統一されていなかった。そのため、スケジュール作成担当者を変更する場合、負担がかかってしまうという問題が生じていた。

2.1 問題解決の方法とその有効性について

先で述べた問題を解決するために、出勤ローテーションスケジュールリングを(0-1)整数計画法の問題として定式化する。そして、短時間で効率よくスケジュールリングを行う自動化システムを数理計画ソフトウェアを用いて実現し、実際の現場に導入することを最終目標とする。

具体的には、工場の全ての部署で扱えるスケジュールリング支援システムを作成する。全ての部署で利用することで出勤ローテーションのレイアウトが統一され、スケジュール作成担当者の変更された場合でも負担がかかりにくいようにする。

また、開発するスケジュールリングシステムの構成として、派遣従業員以外の従業員の担当する勤務を決定する第1段階のシステムと派遣従業員の担当する勤務を決定する第2段階のシステムにわけると。具体的なスケジュール作成手順は、第1段階のシステムで派遣従業員が含まれることを想定してスケジュールリングを行う。その際、不足分をダミー従業員として配置させる。このスケジュールリングを派遣部署以外の部署が終わるまで繰り返す。そうして、派遣部署以外のスケジュールリングを全て終えたら、第2段階のシステムを使用する、これまでのダミー従業員が配置された勤務に対する不足分をまとめて時刻ごとの勤務に対する必要人数として、スケジュールリング

させ、派遣従業員を割り振る、そして第2段階で求めた結果を第1段階で求めた各部署に配置させて、各部署の最終的な出勤ローテーションとする。

2.2 第1段階の出勤ローテーションスケジューリングの定式化

2.2.1 記号の定義

第1段階従業員の出勤ローテーションの定式化を示す。定式化にあたり、以下のように記号の定義を行う。

添字集合

- I : 従業員全体の集合 $i \in I$
- I_1 : ダミー従業員を除いた従業員の集合
- I_2 : ダミー従業員の集合
- J : 勤務の集合 $j \in J$
- K : 時刻の集合 $k \in K$
- M : 従業員が1週間に勤務できる日数の集合 $m \in M$
- K_{im} : 従業員 i の m 番目の勤務可能開始時刻の集合 $K_{im} \subset K$
- KW_{imk} : 従業員 i の m 番目の勤務可能開始時刻 k と k 以降の契約勤務時刻数終了までの時刻の和集合 $KW_{im} \subset K$

定数

- L_i : 従業員 i が1週間に勤務する時刻数の下限値
- U_i : 従業員 i が1週間に勤務する時刻数の上限値
- w_i : 従業員 i の契約勤務時刻数
- d_{jk} : 勤務 j について、時刻 k に必要な従業員の数
- p_{ij} : 従業員 i が勤務 j を担当する際に発生する負担
- q_{ik} : 従業員 i が時刻 k に勤務を担当した場合に発生する負担

$$a_{ik} = \begin{cases} 1: \text{従業員 } i \text{ が時刻 } k \text{ に出勤可能である} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1: \text{従業員 } i \text{ が勤務 } j \text{ を担当可能である} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$fx_{ijk} = \begin{cases} 1: \text{従業員 } i \text{ が時刻 } k \text{ に勤務 } j \text{ を希望する} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1: \text{従業員 } i \text{ が時刻 } k \text{ に勤務 } j \text{ を行う} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1: \text{従業員 } i \text{ が勤務を開始する時刻 } k \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases}$$

2.2.2 定式化

目的関数

$$\begin{aligned} \min. \quad & \alpha \sum_{i \in I_2, j \in J, k \in K} x_{ijk} + \beta \sum_{i \in I_1, j \in J, k \in K} p_{ij} x_{ijk} \\ & + \gamma \sum_{i \in I_1, j \in J, k \in K} q_{ik} x_{ijk} \end{aligned} \quad (1)$$

制約条件

$$L_i \leq \sum_{j \in J, k \in K} x_{ijk} \leq U_i, \quad i \in I_1 \quad (2)$$

(3)

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \geq d_{jk}, \quad j \in J, k \in K \quad (4)$$

$$x_{ijk} \leq a_{ik}, \quad i \in I_1, j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$x_{ijk} \leq b_{ij}, \quad i \in I_1, j \in J, k \in K \quad (6)$$

$$y_{ik} \leq a_{ik}, \quad i \in I_1, j \in J, k \in K_{im} \quad (7)$$

$$x_{ijk} \geq fx_{ijk}, \quad i \in I_1, j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K_{im}} y_{ik} = 1, \quad i \in I_1 \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J, k' \in KW_{imk}} x_{ijk'} \geq w_i y_{ik}, \quad i \in I_1, k \in K_{im} \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1, \quad i \in I, k \in K \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (12)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K_{im} \quad (13)$$

式の説明

- (1) ダミー従業員の勤務する時刻数、従業員が勤務を担当するときに発生する負担、従業員が契約勤務時刻帯外に勤務を担当する時刻数の最小化
- (2) 各従業員について、週の出勤時刻数を上下限値で指定
- (3) 各勤務について、各時刻に必要な人数を割り当てる
- (4) 従業員は希望した時刻以外には働かない
- (5) 従業員は担当可能な勤務のみ行う
- (6) 勤務を開始する時刻は勤務可能時刻内
- (7) 希望した時刻に勤務を行う
- (8) 勤務を開始する時刻は1出勤に1回のみ
- (9) 従業員は契約勤務時刻分連続で勤務する
- (10) 従業員が時刻ごとに担当できる勤務はたかだか1つ
- (11),(12) バイナリ制約

第2段階の定式化については、現在考察中である。第1段階のシステムだけでも、各部署の従業員の不足分が明確になるため、スケジュール作成時間の短縮に貢献できる。

2.3 システムの構築

システムはVBAを用いて、Microsoft Excel上に実装した。試作段階中であるシステムの一画面を図1に示す。

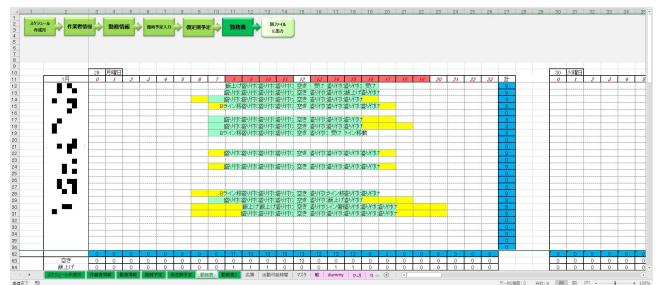


図1 出勤ローテーションスケジューリング支援システムのインターフェース

システムの使用方法として、図1に示されている各工程に対応している画面上部のボタンを順に押していき、スケジューリングに必要な各種情報を入力していく。

2.4 計算機実験

ある食品製造業の工場のある部署の実際のデータをもとに、開発したシステムを用いて解を求める。以下に、計算を行った結果の一例を示す。

計算に使用した計算機環境は以下の通りである。(CPU: Intel Core i7-7700, RAM:16.0GB, OS:Microsoft Windows10) システムはVBAを用いて、Microsoft Excel 上に実装した。

従業員数: 20 人, ダミー従業員数: 20 人, 勤務数: 14, 時刻数: 192 時間, とした。以上のデータをもとにGAPを0.1%に設定して計算した結果, 変数:127,220, 制約式:200,593, 計算時間は0.05秒だった。

3 大学病院麻酔科における要員計画問題

現在、愛知医科大学病院麻酔科で使われているスケジューリング支援システムは過去に大西 [3] によって開発されたものである。大西が開発した当番・当直スケジューリング支援システムは最適化計算を行った後、手作業で何度も修正を行い、最終的なスケジュールを確定していく対話型のシステムである。当番・当直スケジューリング支援システムを愛知医科大学病院の麻酔科に導入したことにより、これまで各種条件を満たすために手作業で作成していたスケジューリングの時間を約1週間から約4時間に短縮できた。

大西が開発した当番・当直スケジューリングシステムは、もともと愛知医科大学病院麻酔科で使用されていた、昼間の勤務を割り当てる「当番勤務のスケジューリング支援システム」、夜間の勤務を割り当てる「当直勤務のスケジューリング支援システム」を統合したものである。

本研究では、そのシステムを愛知医科大学病院の勤務形態の変更に対応させることや、実際にシステムを運用することで得られたスケジュール作成者の要望を取り入れ、更に質の高いスケジュールの作成およびスケジューリング時間の短縮化を目標とする。

勤務形態の変更として、以前は当番勤務の時間にFC勤務や出張勤務など負担がかかる勤務を担当する場合、前日は当直勤務(GICU, 麻酔科医当直, 居残り)を割り振らないことになっていた。しかし、勤務形態の変更により、当直勤務の中でも居残り勤務のみ比較的負担が軽いので割り振ることが可能となった。

スケジュール作成者の要望として、複数の医師を割り振る勤務の場合、医師のランクを考慮して割り振ってほしいという要望があった。ここでいうランクとは、医師の習熟度のことである。これまでの当番・当直スケジューリングシステムでは、最適化計算後に同じランクの医師が偏った場合、手作業で医師の配置を変更していた。そのため、スケジューリング作成時間が増える要因となっていた。以上の勤務形態の変更、医師のランクによる割振の問題を本研究で取り扱う。これらの問題を解決することで、さらにスケジューリング作成時間を短縮できか

つ質の高いスケジュールを出力することができる。

3.1 問題解決の方法とその有効性について

既存の定式化に前述した問題に対応させることで、より質の高いスケジュールを短時間で出力させることを目標にする。

勤務形態の変更については、既存の当直勤務の集合を「当直勤務(GICU勤務, 麻酔科当直)」「当直勤務(居残り)」と分割し定式化の見直しを行う。また、医師のランクによる勤務割り振りについては、既存の医師の集合をランク別に分割する。医師のランクはそれぞれ、M(専門医以上), S(3年以上専門医未満), T(研修医師), D(歯科衛生士), R(ローテーション医師)というように分割する。複数人で担当する勤務のうち、担当する医師の人数によって変更される医師のランクの割り振りを図2に示す。

勤務	必要な人数	制約式	ランクの組み合わせ
GICU	2	$\sum_{d \in D_1} x_{dt3} \geq 1$	MM, MD, MS
	3	$\sum_{d \in D_1} x_{dt3} = 2$	MMT, MMD
外来	2	$\sum_{d \in D_1} x_{dt4} = 1$	MS, MT

図2 医師のランクにより振り分け

3.2 麻酔科医の当番・当直勤務スケジューリングの定式化

今回の変更で新たに追加、修正した麻酔科医の当番・当直スケジューリングの定式化の一部を示す。省略した式は、スケジューリング問題において典型的な式である。

今回の変更で、GICU勤務と外来勤務については必要人数によって割り振る医師のランクが変更されるため、場合分けを行う。

3.2.1 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。
添字集合

- D : 医師全体の集合 $d \in D$
- D_1 : ランクが M の医師の集合
- D_6 : ダミー医師の集合
- DD : ダミー医師を除いた医師の集合
- T : 日にちの集合 $t \in T$
- S_1 : 当番勤務(午前・午後)の集合 $s \in S_1$
 - $s = 1$: OR 勤務
 - $s = 2$: FC 勤務
 - $s = 3$: GICU 勤務
 - $s = 4$: 外来勤務
- S_2 : 当直勤務(GICU当直, 麻酔科当直)の集合 $s \in S_2$
 - $s = 5$: GICU 当直 1 勤務
 - $s = 6$: GICU 当直 2 勤務
 - $s = 7$: 麻酔科当直 1 勤務
 - $s = 8$: 麻酔科当直 2 勤務
- S_3 : 当直勤務(居残り)の集合 $s \in S_3$
 - $s = 9$: 居残り 1 勤務

$s = 10$: 居残り 2 勤務

$s = 11$: 居残り 3 勤務

S : 勤務種類の全体の集合 $s \in S$

$SS : S_2 \cup S_3$

定数

m_n_{ts} : t 日の午前の当番勤務 s の必要人数

$$m_e_{dt} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の午前の休みを希望する} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$a_e_{dt} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の午後の休みを希望する} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$e_e_{dt} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の勤務 } SS \text{ の休みを希望する} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$ae_e_{dt} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の勤務 } S_2 \text{ の休みを希望する} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{dts} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の午前の当番勤務 } s \text{ を行う} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$y_{dts} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の午後の当番勤務 } s \text{ を行う} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$z_{dts} = \begin{cases} 1 : \text{医師 } d \text{ が } t \text{ 日の当直勤務 } s \text{ を行う} \\ 0 : \text{その他の場合} \end{cases}$$

目的関数

ここでは、本研究で用いたの目的関数の一部を示す。省略した項は、文献に記載されている。

$$\min. \alpha \sum_{d \in D_6} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S_1} (x_{dts} + y_{dts}) + \beta \sum_{d \in D_6} \sum_{t \in T} \sum_{s \in SS} z_{dts} \quad (14)$$

制約条件

以下に本研究で追加・修正した、制約条件の一部を示す。それ以外の制約条件については、文献を参照のこと。

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S_1} x_{dts} \leq 1 - m_e_{dt}, \quad \sum_{s \in S_1} y_{dts} \leq 1 - a_e_{dt} \\ \sum_{s \in SS} z_{dts} \leq 1 - ea_e_{dt}, \quad \sum_{s \in S_2} z_{dts} \leq 1 - e_e_{dt} \\ d \in DD, t \in T \quad (15) \end{aligned}$$

- GICU 勤務の必要人数が 2 人のとき $m_n_{t3} = 2$

$$\sum_{d \in D_1} x_{dt3} \geq 1 \quad t \in T \quad (16)$$

- GICU 勤務の必要人数が 3 人のとき $m_n_{t3} = 3$

$$\sum_{d \in D_1} x_{dt3} = 2 \quad t \in T \quad (17)$$

- 外来勤務の必要人数が 2 人のとき $m_n_{t4} = 2$

$$\sum_{d \in D_1} x_{dt4} = 1 \quad t \in T \quad (18)$$

式の説明

(13) 1ヶ月にダミー医師に割り当てる昼間の勤務と夜間の勤務を合計回数の総和を最小化する

(14) 休みを希望した日にはそれぞれ勤務を行わない

(15) GICU 勤務の必要人数が 2 人のときマルチ医師は 1 人以上配置される

(16) GICU 勤務の必要人数が 3 人のときマルチ医師は 2 人配置される

(17) 外来勤務の必要人数が 2 人のときマルチ医師は 1 人以上配置される

4 おわりに

現在、ある食品製造業の工場の出勤ローテーションシステムや麻酔科医の当番・当直スケジューリングシステムといった、要員計画スケジューリングシステムの作成に取り組んでいる。これらの問題について定式化を行い、最適化ソフトウェア IBM ILOG CPLEX や Gurobi を用いて解を求め、どちらも Microsoft Excel 上にシステムを構築した。

作成したシステムについて、担当者と協議を重ねることでユーザインタフェースはシステム利用者にとって扱いやすいレイアウトになるよう設計した。また、実際の現場では数年で勤務形態の変更が行われることもある。そのような場合を考え、システムの条件の変更が容易に行えるようにした。

システムを使用することで、手作業で作成するよりも短時間で条件を満たすスケジュールを作成することが期待できる。そうした場合、スケジュール作成業務の負担を減らすだけでなく、空いた時間を別の業務に費やすことで、企業や病院は利益につなげることができる。また、質の高いスケジュールによって医師や工場で働く従業員の負担を軽減することができる。

今後は、それぞれのシステムを利用者に試用してもらい、手作業によるスケジュールと大きく異なる点はないか、システムで作成したスケジュールに不都合はないか確認していく。そして、そこから得られた知見をもとに、スケジュール作成者が意図した結果が得られるような定式化とユーザインタフェースの改良を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 池上敦子, 丹羽明, 大倉元宏, 『我が国におけるナース・スケジューリング問題』, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 41, pp. 436-442, (1996).
- [2] 宮代隆平, 『整数計画ソルバー入門』, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 57, pp. 183-189, (2012).
- [3] 大西愛乃: 『医療機関におけるスケジューリング支援システムの試作-愛知医科大学病院の事例-』, 南山大学理工学研究科システム数理専攻, 2015 年度修士論文, (2016).
- [4] 徳永拓馬, 田中勇真, 小林隆文, 杓水祐樹, 池上敦子, 『非正社員を主力とするスタッフスケジューリングにおけるモデル化と支援システムの構築』, 情報処理学会論文誌, 数理モデルと応用, Vol. 8, pp. 57-65, (2015).