

# 麻酔科医のシフトスケジューリングについて

2010SE093 勝田綾奈 2010SE142 中村衣里

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

本研究では、愛知医科大学病院における麻酔科医の昼間のシフトスケジューリングについて研究を行う。愛知医科大学麻酔科講座と共同で麻酔科医のシフトスケジュールを自動作成する。

近年、多くの医療機関で電子カルテの導入により、効率的に業務が行えるようになった。医療機関にシステムを導入することで医師の業務が効率的になることがいえる。そして現在も医療機関では、オペレーションズ・リサーチ（以降、OR）を用いて解決できる問題が多く存在する [1, 3, 4]。また、人的・財政的な資源を最小限に抑え、さらに運用コストも抑えるように解決しなくてはならない。日本にある 10,000 近い医療機関で OR を用いて問題を解決することができれば、医療の質の向上につながると考えられる [2]。

現在、愛知医科大学病院では数多くの麻酔科医の毎月分のシフトスケジューリングを手作業で行っている。ある程度経験を積んだ麻酔科医が過酷な業務と並行して行っているため、その完成には 3・4 日ほどかかる。さらに、各麻酔科医の希望するシフトスケジュールにはならない可能性や、シフト数の偏りが生じる可能性がある。また月曜日と水曜日は大きい手術が多く、労働負担が大きいので同じ麻酔科医に連続して割当ててを避ける必要がある。そこで、シフトスケジュール作成の問題を 0-1 整数計画問題として定式化して解くことを考える。各麻酔科医に各業務のシフト数の公平性をもたらす効率よく、かつ短時間で解を得られるようにする。麻酔科医にとってシフトスケジュール作成時間が大幅に削減できることは、業務の効率化に繋がる。具体的には短時間でシフトスケジューリングを行う自動化システムを作成し、実際のシフトスケジューリングの現場に導入することを最終目標とする。

本研究室では、以前より多くのシフトスケジューリングに関する研究が行われている。本研究は同じく愛知医科大学と共同で行われた麻酔科医の当直シフトスケジューリングに関する研究 [2] と関係している。[2] では手作業で作成された昼間のシフトスケジュールを元に、各麻酔科医の業務のシフト数と担当できる業務を考慮した当直シフトスケジューリングシステムの作成を行った。そして、本研究では、[2] で自動化されていなかった昼間のシフトスケジューリングを自動的に行えるシステムを作成する。さらに本研究と [2] を組み合わせることで麻酔科講座のシフトスケジュール作成の自動化を目指す。

ここで、用いる用語を説明する。FC (Floor Charge) 業務は、手術室を統括する業務である。周術期とは、手術前・術中・術後を合わせた期間のことをいう。周術期集

中治療部は周術期の患者を収容する集中治療室である。SICU(Surgical Intensive Care Unit) 業務は周術期集中治療部での業務である。OR(Operating Room) 業務は手術室での麻酔を担当する業務である。

麻酔科医のシフトスケジュール作成についての現状と問題点を述べる。

### 現状

- 1) 1 週間分の予定を各麻酔科医ごとに作成する
  - 1 週間分の業務は主に通常業務から割当てる
  - FC 業務・SICU 業務・外来業務・OR 業務のいずれかを割当てる候補となるシフトには「OR/SICU」を割当てる。
- 2) 1 週間分の予定を繰り返して 1 ヶ月分の通常業務の予定を作成する。
- 3) 臨時業務を割当てる
  - 臨時業務がある場合、通常業務より臨時業務を優先する
  - 休日と祝祭日は臨時業務以外の業務を入れない
- 4) 1 ヶ月分のシフトスケジュールを作成後、「OR/SICU」のシフトを有する麻酔科医に各業務を割当てる
  - 割当てる業務は FC 業務・SICU 業務・外来業務・OR 業務の 4 種類
  - FC 業務, SICU 業務, 外来業務, OR 業務の順で割当てる
  - FC 業務・SICU 業務・外来業務は各シフトに 1 人以上の麻酔科医を割当てる
  - FC 業務は 1 日の午前・午後のシフトを同じ麻酔科医が担当する
  - OR 業務は、FC 業務・SICU 業務・外来業務を割当てた後、残り全ての「OR/SICU」のシフトに割当てる。

### 問題点

- 1) スケジューリングは手作業で行われているため、時間と手間がかかる
- 2) 各業務を各麻酔科医に対し、シフト数や労働負担に偏りがないように割当てることが困難である
- 3) 各麻酔科医が、希望した日に休むことができない

## 2 問題解決の考え方と方法

本研究では Microsoft Office Excel 2007® 上にシフトスケジュール作成支援システムを実装する。このシステムでは学会・休みなどの希望は必ず達成されることとする。FC 業務・SICU 業務・外来業務は各シフトに少なくとも 1 人の麻酔科医を割当てる。各麻酔科医のシフト数と労働負担

を分散させる。また計算が実行不可能になることを防ぐために、実際には存在しないダミー医師を導入する。医療現場の要望をできる限り反映するために1度の計算で解を求めるのではなく、得られた解を何回か修正しながら最終的な解を求める対話的なアプローチをする。

### 3 問題の定式化

ここでは、前節の現状4)で説明したFC業務・SICU業務・外来業務・OR業務の4種類の最適な割当てを求める問題を考える。これを0-1整数計画問題として定式化する。この定式化によれば麻酔科医のシフト数に偏りが少なく、各シフトの業務の必要数を満たすことを目的としている。

FC業務・SICU業務・外来業務の各シフトに対する必要数はそれぞれ1である。4つの業務を割当てするには、前節の現状1)でOR/SICU業務を割当てられている麻酔科医の中から各担当者を選ぶ。FC業務・SICU業務・外来業務・OR業務の順で割当てていく。また各麻酔科医に対して設定するシフト数の上限値を使って制約を厳しくすることで、シフト数の偏りを緩和させることができる。しかしその場合、制約を満たすことができず実行不可能になることが考えられるので、ダミー医師を導入することによって防ぐ。ダミー医師に業務が割当てられた場合は、システム利用者が手作業で業務を割当ててものとする。労働負担については1ヶ月を連続する5週間と考え、各麻酔科医に割当てられた業務が均等に分かれるようにする。また曜日によって労働負担に変化があるという現状を考慮し、1週間の平日を5日と仮定した上で2週間連続して同じ曜日を担当することを回避することとする。

定式化にあたり、以下のように定義を行う。

#### 3.1 FC業務の割当ての記号の定義

FC業務の割当てを0-1整数計画問題として定式化する。1ヶ月を前後の月の日にちも含めた連続する5週間としてみる。FC業務は各シフトに必ず1人の麻酔科医を割当てていく。スケジュール作成の対象となる月の麻酔科医の人数を $m$ とし、 $\alpha$ は1より大きい適当な正の値とする。

##### 添字集合

$J$  : ダミー医師を含む麻酔科医の集合  $J = \{1, 2, 3, \dots, m\}$

$D$  : ダミー医師の集合  $D = \{1, 2, 3\}$

$W$  : 週の平日(月曜日～金曜日)の集合  $W = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$W_n$  : 第 $n$ 週の平日の集合  $W_n = \{w+5(n-1)|w \in W\}$ ,  $n = 1, 2, 3, 4, 5$

$K$  : 連続する5週間の平日の集合  $K = W_1 \cup W_2 \cup W_3 \cup W_4 \cup W_5$ ,  $k \in K$

$H$  : 業務を割当てて必要のない平日の集合  $H \subset K$

$\bar{K}$  :  $K$  から  $H$  の要素を除いた集合  $\bar{K} \subset K$

$\bar{W}_n$  :  $W_n$  から  $H$  の要素を除いた集合  $\bar{W}_n \subset \bar{K}$

$a$  : 午前のシフト

$p$  : 午後のシフト

$\bar{I}$  : シフトスケジュールリングの対象となる午前・午後のシフトの集合  $\bar{I} = \{a, p\} \times \bar{K}$ ,  $\bar{I} \subset I$

##### 定数

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{シフト } i \text{ に麻酔科医 } j \text{ が FC 業務可能} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$i \in \bar{I}, j \in J$$

\*ただし、スケジュールを修正するために繰り返し割当てを行う場合、FC業務を固定するシフトは $p_{ij} = 100$ とする。

$u_j$  : 麻酔科医  $j$  の1ヶ月のFC業務のシフト数の上限値,  $j \in J$

$l_j$  : 麻酔科医  $j$  の1ヶ月のFC業務のシフト数の下限値,  $j \in J$

##### 決定変数

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{シフト } i \text{ に麻酔科医 } j \text{ が FC 業務をする} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$i \in \bar{I}, j \in J$$

#### 3.2 FC業務の割当ての定式化

##### 目的関数

$$\max \sum_{i \in \bar{I}} \sum_{j \in J} p_{ij} x_{ij} - \alpha \sum_{i \in \bar{I}} \sum_{d \in D} p_{id} x_{id} \quad (1)$$

##### 制約条件

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad i \in \bar{I} \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq p_{ij}, \quad i \in \bar{I}, j \in J \quad (3)$$

$$l_j \leq \sum_{i \in \bar{I}} x_{ij} \leq u_j, \quad j \in J \quad (4)$$

$$x_{(a,k)j} = x_{(p,k)j}, \quad k \in \bar{K}, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in \bar{W}_r} x_{ij} + \sum_{i \in \bar{W}_s} x_{ij} - \left( \sum_{i \in \bar{I}} x_{ij} - 2 \right) \times \frac{|\bar{W}_r| + |\bar{W}_s|}{|\bar{K}|} \geq 0, \quad j \in J, r, s = \{1, 2, 3, 4, 5\}, r \neq s, r < s \quad (6)$$

$$x_{(t,k)j} + x_{(t,k+5)j} \leq 1, \quad t \in \{a, p\}, k \in \bar{W}_1 \cup \bar{W}_2 \cup \bar{W}_3 \cup \bar{W}_4, j \in J \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in \bar{I}, j \in J \quad (8)$$

- (1) 1ヶ月に割当ててFC業務の合計シフト数からダミー医師に割当てたシフト数を引いた数の最大化。
- (2) シフト $i$ にFC業務を行う麻酔科医はちょうど1人とする。
- (3) シフト $i$ にFC業務可能な麻酔科医 $j$ を割当てていく。
- (4) 麻酔科医 $j$ に関して1ヶ月のFC業務のシフト数の上下限値を満たすようにする。

- (5) 1日にFC業務を担当する麻酔科医が1人であるようにする。
- (6) この制約は各麻酔科医  $j$  に対するシフト数の公平性のための制約条件である。 $(\sum_{i \in \bar{I}} x_{ij} - 2) \times \frac{|\bar{W}_r| + |\bar{W}_s|}{|\bar{K}|}$  は、 $\sum_{i \in \bar{I}} x_{ij}$  から2引かなければ麻酔科医  $j$  の連続する全5週間の勤務数に、第  $r$  週と第  $s$  週のシフト数が全5週間に占める割合を掛けたものなので、各週にほぼ均等に勤務した場合に第  $r$  週と第  $s$  週に勤務する平均的なシフトを表す。したがって  $\sum_{i \in \bar{I}} x_{ij}$  から2を引いたものは、各週ほぼ均等に勤務したときに第  $r$  週と第  $s$  週に最低限勤務すべきシフト数と考えることができる。そこで、第  $r$  週と第  $s$  週に勤務するシフト数の和がこれを下回らないようにする制約である。
- (7) 麻酔科医  $j$  が2週間連続して同じ曜日のシフトに連続して割当てられないようにする。
- (8) バイナリ制約

### 3.3 SICU業務・外来業務の割当て

SICU業務と外来業務の割当ては同じ定式化を用いる。この割当ての問題は3.1とほぼ同じ記号の定義ができる。SICU業務・外来業務の決定の定式化は3.2で示したFC業務決定の定式化のうち(5)の式を除いたものである。

## 4 計算機実験

この節では、3節の定式化を用い適当なデータをもとに計算した結果を示す。計算に使用した計算機環境は以下である。

OS : Microsoft Windows 7 Professional

CPU : Intel(R)Core(TM)2 Duo CPU P8700 @2.53GHz  
2.53GHz

RAM : 2.00GB

また計算に使用した最適化ソフトウェアはCPLEX Studio IDEバージョン12.4®である。CPLEXはデータの変更にも柔軟に対応することができる。またVBAを用いることで、Microsoft Office Excel 2007®上で実行することができる。現在、愛知医科大学病院では麻酔科医のシフトスケジュール作成においてExcelを用いているため、新しいシステム導入に対する抵抗が小さくなると考えている。

### 4.1 各業務の割当て計算

3.2, 3.3で定式化した各業務割当て問題の計算機実験を以下のデータで行う。今回は、2014年4月で表すデータを用いてシフトスケジュールを作成する。

- ダミー医師を含む医師 ( $J$ ) の人数 : 26名
- ダミー医師 ( $D$ ) の人数 : 3名
- 週の平日 (月曜日～金曜日) :  $W = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- 第1週目の平日 :  $W_1 = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

- 第2週目の平日 :  $W_2 = \{6, 7, 8, 9, 10\}$
- 第3週目の平日 :  $W_3 = \{11, 12, 13, 14, 15\}$
- 第4週目の平日 :  $W_4 = \{16, 17, 18, 19, 20\}$
- 第5週目の平日 :  $W_5 = \{21, 22, 23, 24, 25\}$
- 連続する5週間の平日 :  $K = \{1, 2, \dots, 24, 25\}$
- 業務を割当てて必要のない平日 :  $H = \{1, 22, 24, 25\}$
- $K$  から  $H$  を除いた平日 :  $\bar{K} = \{2, 3, \dots, 21, 23\}$
- $W_1$  から  $H$  の要素を除いた平日 :  $\bar{W}_1 = \{2, 3, 4, 5\}$
- $W_2$  から  $H$  の要素を除いた平日 :  $\bar{W}_2 = \{6, 7, 8, 9, 10\}$
- $W_3$  から  $H$  の要素を除いた平日 :  $\bar{W}_3 = \{11, 12, 13, 14, 15\}$
- $W_4$  から  $H$  の要素を除いた平日 :  $\bar{W}_4 = \{16, 17, 18, 19, 20\}$
- $W_5$  から  $H$  の要素を除いた平日 :  $\bar{W}_5 = \{21, 23\}$
- シフトスケジューリングの対象となる午前・午後のシフト :  $\bar{I} = \{a, p\} \times \bar{K}$ ,  $\bar{I} \subset I$
- 麻酔科医  $j$  の1ヶ月の各業務のシフト数の上限値  $u_j$ , 麻酔科医  $j$  の1ヶ月の各業務のシフト数の下限値  $l_j$ , 麻酔科医  $j$  が各業務可能であるシフト  $p_{ij}$  : 任意に設定

### 4.2 計算結果と考察

4.1のデータをもとに計算した。FC業務を1ヶ月分割当てる問題の規模は1,092変数, 2,980制約式であり、解を求めるための計算時間は5.64秒だった。またSICU業務を1ヶ月分割当てる問題の規模は1,092変数, 2,434制約式で、解を求めるための計算時間は4.26秒だった。外来業務を1ヶ月分割当てる問題の規模は1,092変数, 2,434制約式で解を求めるための計算時間は5.98秒だった。

以上の結果より、1ヶ月分の割当て計算を行う際、1つの業務に対して約6秒の時間がかかる。システムを作成する上で、手作業での条件・解の修正と計算を繰り返すことを考えてもシフトスケジュール作成の手間の面で現状を大きく改善することができる計算時間である。

## 5 麻酔科医のシフトスケジュール作成支援システムについて

現在試作中のシステムの概要と使用方法について紹介する。システムを利用する際には、各エクセルシート上部にあるボタンに沿って進行する。各エクセルシートの必要事項を入力した後、[入力完了]のボタンを押す。

初期化ボタンは新しい月のシフトスケジュールを作成する際のみ押す。初期化を行うとその時点で最終予定に表示されているシフトスケジュールが前月予定のシートにコピーされる。さらに統合結果、FC業務割当て、SICU業務割当て、外来業務割当て、最終予定の各シートのシフトスケジュールは削除される。麻酔科医シフトスケジュール作成支援システムの使用手順を以下に示す。

- (1) シフトスケジュールを作成する年の祝祭日をすべて入

