

手術部看護師のスケジューリング支援システムの試作

M2011MM029 伊東美奈

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

本研究は、愛知医科大学病院の手術部を対象とした、看護師の勤務表作成（以下、ナース・スケジューリング）における支援システムの作成に取り組む。現在、看護師の勤務表作成は主に手作業で行われている。それゆえ、作成には多くの時間を要し、スケジューリング担当者の負担となっている。そこで、本研究では、作成時間を削減し、スケジューリング担当者の負担を軽減させるような、スケジューリング支援システムを作成し、スケジューリングの現場に導入してもらうことを目的とする。なお、本研究では、愛知医科大学病院の手術部で、勤務表を作成する際に実際に用いられている作成条件を用いる。

ナース・スケジューリング問題とは、看護師の適切な勤務表を決定する問題である。病棟看護師は、24時間途切れることなくサービスを提供しなければならない、ローテーションを組み、勤務にあたっている。質の高い医療サービスを提供するためには、毎日の看護師のメンバーを適切に構成しなければならない。看護師の仕事は、人の生命を左右することから失敗が許されないため、労働負荷やスキルレベルなどを考慮して看護師を配置する必要がある。したがって、勤務表の作成条件は複雑となり、すべての条件を満たす勤務表を作成することは非常に困難である。この問題は、スタッフ・スケジューリングの中でも最も難しい部類の問題であるとされている [3]。

看護師の勤務表作成の自動化システムは既に存在し、販売されている。しかし、多くの場合、それらのシステムは利用されておらず、紙面や表計算ソフトを用いて手作業で行われている。そのためスケジューリング担当者は、作成に多くの時間を費やしている。池上氏のアンケート調査 [3] によると、手作業での場合、勤務表作成に平均 6.8 時間、最大 30 時間を費やしていることが分かっている。勤務表作成のためにプライベートの時間を割くことも多くあり、スケジューリング担当者には大きな負担となっている。

このようなナース・スケジューリングの問題は数多く研究されている。池上氏は、勤務表作成の現場調査を徹底的に行い、日本のナース・スケジューリングを扱うことのできる数理計画モデルを構築した [3]。また、本大学でも過去 2 年にわたり研究されており、これらは共に実際の病院との共同研究であった [1, 4]。しかし、この 2 つの研究では現場へのシステムの導入には至らなかった。その原因として、すべての条件を満たす解を、一度で求めるための定式化を行っていたことが挙げられる。この方法では、問題が複雑になり、規模が大きくなってしまふことで、解を得るのに長い計算時間がかかる。また、スケジューリング担当者の経験が反映されにくく、数値化できないような条件を定式化に含めることができないため、スケジューリング担当者には受け入れがたく、導入

には至らなかった。

そこで、本研究では、従来のような一回の計算で解を得るのではなく、複数回の修正を可能とするような、対話的なアプローチを採用する。対話的なアプローチを採用することで、スケジューリング担当者の経験が反映されやすくなり、導入への抵抗が少なくなると考える。なお、問題解決にあたっては、オペレーションズ・リサーチの手法である 0-1 整数計画法を用いて定式化を行う。また、支援システムは VBA¹ プログラムを用いて Microsoft¹ Excel¹ 上に実装し、最適化ソフトウェアである IBM² ILOG² CPLEX² Optimization Studio 12.4 を用いて計算を実行する。

2 看護師の勤務表

勤務表は、一番左の列に看護師氏名や番号、一番上の行に日付や曜日が記入される。表中の各セルの中に勤務を表す記号を記入することで勤務スケジュールが決定する。勤務表を列毎に見ていくと各日の各勤務のメンバーを知ることができ、行毎に見ていくと各看護師のその期間のスケジュールを知ることができる。勤務表を作成する際、もっとも重要とされるのは、毎日の「看護の質」を一定レベル以上に保たなければならないことである。この看護の質を保つための条件として、池上氏の論文 [2] に従って、以下 2 つが挙げられる。

- 「縦の条件」：毎日の各勤務のメンバー構成で質を守る。
- 「横の条件」：各看護師についての勤務スケジュール。

これらの条件を基に、以下 5 つのことに従って勤務表を作成する。

1. 勤務や休みの希望を反映させる。
2. 毎日の各勤務において必要な人数を確保する。
3. スキルレベルを考慮して各勤務のメンバーを構成する。
4. 各看護師の各勤務の回数を、決められた範囲内におさめる。
5. 禁止する勤務パターンを排除する。

ここで、2 と 3 は縦の条件である。また、4 と 5 は横の条件である。

3 問題解決へのアプローチ

本研究では、従来の研究方法を見直し、スケジューリング担当者による複数回の修正を可能とするような、対話的なアプローチを用いる。

従来は、一回の計算で全ての条件を満たす解を求める方法が多く行われていた。この方法では、条件が厳しくなり、解を求めることが難しい。たとえ解を求めることができたとしても、問題が複雑になり、規模が大きくなってしまふため、解を得るのに長い計算時間がかかる。それに加えて、スケジューリング担当者の経験など、定式

化が困難なものが反映されにくい。そのため、担当者が受け入れられる勤務表を作り上げることは難しい。

そこで、本研究では、対話的なアプローチを採用する。具体的には、一回の計算で解を求めるのではなく、スケジューリング担当者による複数回の修正を可能とするような、スケジューリングを支援するシステムを作成する。このアプローチでは、問題の規模が大きくなることを防ぐことができ、スケジューリング担当者の経験が反映されやすくなる。それゆえ、担当者が受け入れることが可能な勤務表を作り上げることができると考える。また、池上氏によって行われたアンケート調査 [2] では、「勤務表作成を支援してくれるコンピュータ・システムがあったとしたら、どのようなものがよいか」という問いに対して、4つの選択肢のうちもっとも回答数が多かったのは、「ある程度の条件を満たした勤務表を表示し、後で手直し可能なもの」であった。つまり、修正を可能とする対話的なシステムは、スケジューリング担当者に受け入れられやすいと考えられる。実際、愛知医科大学病院手術部のナース・スケジューリング担当者も、このようなシステムは実際的であると評価している。

スケジューリング担当者による修正を可能とするシステムを用いた勤務表の作成手順は、以下の通りである。

1. あらかじめ、希望する勤務や年休などの休みを入力する。
2. 1で入力した勤務や休みは必ず割り当て、その他の日に各勤務や週休を割り当てるような、最低限満たすべき基本となる勤務表を作成する。
3. 作成した勤務表において、納得のいかない箇所を再度割り当てるために、決定したい箇所の勤務を固定させ、再度勤務表を作成する。(得られた勤務表の一部を修正して固定させることも可能である。)
4. スケジューリング担当者が受け入れ可能な勤務表が得られるまで3を繰り返し、最終的な勤務表を作成する。

このように、段階を踏み複数回の修正を可能にすることで、スケジューリング担当者の経験が反映されやすくなり、より実用的なシステムになると考える。

4 問題の定式化

看護師の割当を行うため、0-1整数計画法の問題として定式化する。ここで示す定式化は、愛知医科大学病院の手術部における作成条件を用いた場合である。割当を行う際、連続勤務禁止パターンが割り当てられないようにするため、前回の勤務表の最後6日間を与える。

前節の勤務表作成手順で示した通り、1回目の計算を終えた後、勤務表を修正する。その際、勤務表の中で、納得のいかない箇所を再度割り当てるために、決定したい箇所の勤務を固定させる。そのために、2回目以降の計算では、固定する箇所を1、そうでない箇所を0とするような定数を設け、固定した勤務は必ず割り当てるような制約を追加する。修正を行わない1回目の計算では、この定数をすべて0とし、この制約が機能しないようにする。

また、あらかじめ決定する希望の入力の仕方や、縦の

条件によっては、1日に必要な勤務を、対象となる看護師にすべて割り当てることできないことが起こり得るため、ダミーの看護師を設ける。できるだけダミーの看護師には勤務を割り当てたくないため、目的関数は、ダミーの看護師に割り当てる勤務数の総和の最小化とする。

4.1 記号の定義

定式化に用いる記号を以下のように定義する。

添え字集合

N : 看護師全員の集合

N_1 : スケジュール対象となる看護師の集合 $N_1 \subset N$

N_2 : ダミーの看護師の集合 $N_2 \subset N$

T : 前スケジュールを含めた日の集合

$$T = \{-5, -4, \dots, 0, 1, \dots, k\}$$

T_1 : スケジュール対象となる日の集合

$$T_1 = \{1, 2, \dots, k\} \quad T_1 \subset T$$

R : 看護師のグループの集合

$r = 11$: 夜勤を行うことができる (ダミー含めない)

$r = 12$: 夜勤を行うことができる (ダミー含める)

$r = 2$: ランク A

$r = 3$: ランク B

$r = 4$: ランク C

$r = 5$: 夜勤を行うことができない

($r = 2, 3, 4$ は $r = 11, r = 12$ に含まれる。)

G_r : グループ r に属する看護師の集合

S : 勤務 (休みを含める) の種類の集合

$s = 1$: 週休

$s = 9$: 準夜勤

$s = 2$: 日勤 1

$s = 10$: 午前半日

$s = 3$: 日勤 2

$s = 11$: 午後半日

$s = 4$: 中勤

$s = 12$: 祝日

$s = 5$: 遅番

$s = 13$: リフレッシュ休暇

$s = 6$: 早番

$s = 14$: 年休

$s = 7$: 夜勤

$s = 15$: 半年休

$s = 8$: 夜勤明け

定数

a_{st}^{\pm} : $t \in T_1$ 日の各日勤における看護師の上下限人数

b_{st}^{\pm} : $t \in T_1$ 日の日勤 1, 2 を合わせた看護師の上下限人数

c_{st} : $t \in T_1$ 日の夜勤, 準夜勤における看護師の必要人数

d_{rts}^{\pm} : $t \in T_1$ 日の中勤, 遅番, 夜勤におけるグループ r からの上下限人数

α_n^{\pm} : 看護師 $n \in N_1$ の 4 週間あたりの合計勤務時間を調整するための上下限值

β_n : 看護師 $n \in N_1$ の 4 週間あたりの遅番の勤務回数の上限值

γ_{ns}^{\pm} : 看護師 $n \in G_1$ の 4 週間あたりの日勤 2, 夜勤の勤務回数の上下限値

δ_n^{\pm} : 看護師 $n \in G_{11}$ の 4 週間あたりの中勤と夜勤の合計勤務回数の上下限値

ϵ_n : 看護師 $n \in G_{11}$ の 4 週間あたりの中勤と夜勤の勤務回数の差

ζ_n : 看護師 $n \in G_{11}$ の 4 週間あたりの準夜勤の勤務回数の上限值

h_s : 勤務 $s \in S$ の勤務時間

$$w_{nts} = \begin{cases} 1 & \text{看護師 } n \in N_1 \text{ が } t \in T_1 \text{ 日に勤務 } s \in S \\ & \text{を希望する} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$f_{nts} = \begin{cases} 1 & \text{看護師 } n \in N_1 \text{ が } t \in T_1 \text{ 日に勤務 } s \in S \\ & \text{を固定する} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$o_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{看護師 } n \in N_1 \text{ の } t \in T_1 \text{ 日に指定された} \\ & \text{複数の勤務のいずれかを割り当てる} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$p_{nts} = \begin{cases} 1 & \text{看護師 } n \in N_1 \text{ が } t \in T \setminus T_1 \text{ 日に勤務} \\ & s \in S \text{ をする} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{nts} = \begin{cases} 1 & \text{看護師 } n \in N \text{ が } t \in T \text{ 日に勤務 } s \in S \\ & \text{をする} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

4.2 定式化

以上の記号を用いて、ダミーの看護師が行う勤務回数の総和を最小とする定式化を行う。

目的関数

$$\min \sum_{n \in N_2} \sum_{t \in T_1} \sum_{s=2}^{11} x_{nts} \quad (1)$$

制約条件

$$\sum_{s \in S} x_{nts} = 1 \quad n \in N, t \in T_1 \quad (2)$$

$$x_{nts} \geq \min\{w_{nts} + f_{nts}, 1\} \quad n \in N_1, t \in T_1, s = 1, \dots, 11 \quad (3)$$

$$x_{nts} = \min\{w_{nts} + f_{nts}, 1\} \quad n \in N_1, t \in T_1, s = 12, \dots, 15 \quad (4)$$

$$\sum_{s=2,3,4} x_{nts} \geq o_{nt} \quad n \in N_1, t \in T_1 \quad (5)$$

$$x_{nts} = p_{nts} \quad n \in N_1, t \in T \setminus T_1, s \in S \quad (6)$$

$$a_{st}^- \leq \sum_{n \in N} x_{nts} \leq a_{st}^+ \quad t \in T_1, s = 2, \dots, 6 \quad (7)$$

$$b_t^- \leq \sum_{n \in N} \sum_{s=2,3} x_{nts} \leq b_t^+ \quad t \in T_1 \quad (8)$$

$$\sum_{n \in G_{12}} x_{nts} = c_{st} \quad t \in T_1, s = 7, 9 \quad (9)$$

$$d_{rts}^- \leq \sum_{n \in G_r} x_{nts} \leq d_{rts}^+ \quad (10)$$

$$r = 2, 3, 4, t \in T_1, s = 4, 5, 7$$

$$7 \leq \sum_{t \in T_1} x_{nt1} \quad n \in N_1 \quad (11)$$

$$158 - \alpha_n^- \leq \sum_{t \in T_1} \sum_{s \in S} h_s x_{nts} \leq 158 + \alpha_n^+ \quad n \in N_1 \quad (12)$$

$$\sum_{t \in T_1} x_{nt5} \leq \beta_n \quad n \in N_1 \quad (13)$$

$$\gamma_{ns}^- \leq \sum_{t \in T_1} x_{nts} \leq \gamma_{ns}^+ \quad n \in G_{11}, s = 4, 7 \quad (14)$$

$$\delta_n^- \leq \sum_{t \in T_1} x_{nt4} + \sum_{t \in T_1} x_{nt7} \leq \delta_n^+ \quad n \in G_{11} \quad (15)$$

$$-\epsilon_n \leq \sum_{t \in T_1} x_{nt4} - \sum_{t \in T_1} x_{nt7} \leq \epsilon_n \quad n \in G_{11} \quad (16)$$

$$\sum_{t \in T_1} x_{nt9} \leq \zeta_n \quad n \in G_{11} \quad (17)$$

$$x_{nt7} = x_{n,t+1,8} \quad n \in G_{11}, t \in T \setminus \{k\} \quad (18)$$

$$x_{nt9} = x_{n,t+1,1} \quad n \in G_{11}, t \in T \setminus \{k\} \quad (19)$$

$$\sum_{s=7,9} x_{nts} = 0 \quad n \in G_5, t \in T_1 \quad (20)$$

$$\sum_{s=2}^{11} \sum_{t'=t}^{t+6} x_{nt's} \leq 6 \quad n \in N_1, t \in T \setminus \{k-5, \dots, k\} \quad (21)$$

$$x_{nt5} + x_{n,t+1,4} \leq 1 \quad n \in N_1, t \in T \setminus \{k\} \quad (22)$$

$$x_{nts} + x_{n,t+1,s} \leq 1 \quad n \in N_1, t \in T \setminus \{k\}, s = 5, 6 \quad (23)$$

$$x_{nt7} + x_{n,t+2,7} \leq 1 \quad n \in G_{11}, t \in T \setminus \{k-1, k\} \quad (24)$$

$$x_{nts} \in \{0, 1\} \quad n \in N, t \in T, s \in S \quad (25)$$

定式化の説明

- (1) ダミーの看護師に割り当てる勤務回数の総和を最小化する。
- (2) 各看護師に、勤務あるいは休みを必ず1つ割り当てる。
- (3) 希望する週休、勤務を固定し、固定させたい週休、勤務を固定する。
- (4) 希望する休みを固定し、固定させたい休みを固定する。
- (5) 指定された複数の勤務のいずれかを割り当てる。
- (6) スケジューリング開始前6日間を、前回のスケジュールの最後6日間にする。
- (7) 各日の各日勤を行う看護師数を上下限值におさめる。
- (8) 各日の日勤1と日勤2を合わせた看護師数を上下限值におさめる。
- (9) 各日の夜勤、準夜勤を行う看護師の必要人数を決定する。
- (10) 各日の中勤、遅番、夜勤を行う各ランクからの看護師数を上下限值におさめる。
- (11) 各看護師に週休を4週間に7日以上割り当てる。
- (12) 各看護師の4週間あたりの勤務時間を上下限值におさめる。
- (13) 各看護師の4週間あたりの遅番の勤務回数を上限値以下にする。
- (14) 各夜勤従事者の4週間あたりの中勤と夜勤の勤務回数を上下限值におさめる。
- (15) 各夜勤従事者の4週間あたりの中勤と夜勤の合計勤務回数を上下限值におさめる。



図 1 試作段階のシステムの画面の一部

- (16) 各夜勤従事者の 4 週間あたりの中勤と夜勤の勤務回数の差を一定値におさめる.
- (17) 各夜勤従事者の 4 週間あたりの準夜勤の勤務回数を上限値以下にする.
- (18) 夜勤の次の日に夜勤明けを割り当てる.
- (19) 準夜勤の次の日を休みにする.
- (20) 夜勤を行うことができない看護師には夜勤と準夜勤を割り当てない.
- (21) 連続 7 日勤務を禁止する.
- (22) 遅番の次の日に中勤を割り当てない.
- (23) 早番と遅番の 2 連続勤務を禁止する.
- (24) 夜勤 2 連続勤務を禁止する.
- (25) 0-1 変数で表す.

5 計算結果

愛知医科大学病院で実際に使われている作成条件を基に定式化し、勤務表を試作した。なお、希望に関しては、ある月の実際の各看護師の希望データを使用した。問題の規模と一回の計算にかかる時間の一例を以下に示す。

スケジュール対象となる看護師数は 54 人、期間は 4 週間 (28 日)、休みを含めた勤務種類は 15 種類である。看護師のうち、夜勤を行うことができる看護師は 34 人、行うことができない看護師は 20 人である。また、夜勤を行うことができる看護師をランクごとに 3 つのグループに分けた。ランク A は 10 人、ランク B は 12 人、ランク C は 12 人である。

0-1 整数計画法として定式化したこの問題は、以上のデータのもと、変数の数が 28,800、制約条件の数が 40,924 であり、計算時間は約 30 秒であった。なお、計算に用いた PC の性能は、CPU は Intel³ Core³ i5-3317U 1.70GHz、RAM は 4.00GB、OS は Microsoft Windows 7¹ である。最適化ソフトウェアとして IBM ILOG CPLEX Optimization Studio を用いて計算した。

6 試作段階のシステムについて

試作段階のナース・スケジューリング支援システムについて説明する。システムの画面の一部を図 1 に示す。本研究で試作しているシステムは、一回の計算で作成した勤務表を使用者が修正できるような、対話型システムである。このシステムでは、VBA プログラムを用いて、すべて Excel 上で操作できるようにしている。

システムでは、必要事項を入力、選択し、順にボタンをクリックすることで条件を満たした勤務表を作成することができる。得られた勤務表のうち、納得のいかない

箇所を再度割り当てるために、固定したい箇所を選択する。図中の「実行」のクリック → 「固定する箇所の選択」 → 「固定」のクリックの操作を、担当者にとって受け入れ可能な勤務表が得られるまで繰り返す。このシステムでは、出来上がった勤務表の手直しも可能である。

7 おわりに

本研究では、愛知医科大学病院の手術部看護師における、スケジューリング支援システムの作成に取り組んでいる。ナース・スケジューリングの問題を 0-1 整数計画法の問題として定式化し、VBA プログラムを用いて Excel 上に支援システムを実装している。

試作しているシステムでは、集合の要素数や定数といったパラメータを使用者が変更できるようにしている。作成条件として、1 日あたりの各勤務を行う人数や看護師あたりの各勤務を行う回数の上下限値が設けられているが、そのときの業務の状況によって、人数や回数を変更することがある。そのため、制約条件に用いる人数や回数の上下限値をスケジューリング担当者が設定できるようにした。

今後も、試作したシステムをスケジューリング担当者に試用してもらい、使い勝手やシステムで作成した勤務表に問題がないかなどを検証する。そして、更に打ち合わせを行い、実用化に向けて改善を行う予定である。

参考文献

- [1] 青野愛: 病棟看護師勤務シフトの自動作成に関する実際研究, 南山大学大学院数理情報研究科 2008 年度修士論文, 2009.
- [2] 池上敦子: 我が国におけるナース・スケジューリング -モデル化とアプローチ-, 成蹊大学大学院博士学位論文, 2001.
- [3] 池上敦子: ナース・スケジューリング -調査・モデル化・アルゴリズム-, 統計数理 (2005), 第 53 巻, 第 2 号, 231-259, 2005.
- [4] 伊東尚美: 実用的なシフトスケジューリングシステムの試作, 南山大学大学院数理情報研究科 2009 年度修士論文, 2010.

¹Microsoft, Windows 7, Excel, VBA は、米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

²IBM, ILOG, CPLEX は IBM Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

³Intel, Core は、Intel Corporation または子会社の米国およびその他の国における商標または登録商標です。