

病棟看護師勤務シフトの自動作成に関する実際的研究

M2007MM004 青野愛

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

医療機関では、多くの医療行為がチームで行われており、病院スタッフを適切に構成することが非常に重要になっている。これができることは、患者に対する看護の質とスタッフの生活の質の両方を守ることを意味する。

特に、24時間行われる病棟看護師の勤務表作成（ナース・スケジューリング [1][2]）では、医療機関とナース個人の条件を満たす勤務表の作成が困難である。勤務のパターン化が困難な上、短期間でスケジュールの変更が必要であり、解析的な手法で解を求めることは不可能である。

ナース・スケジューリングの難しさは国内外で広く知られている。勤務表作成の自動化システムは複数市販されており、病院もそのことは知っており、システムを購入している病院も多くなってきている。しかし、まだ実際の勤務表作成に使用されてはならず、システムを購入しても紙面での作成や、表計算を行うソフトウェアとしての利用が主となってしまっている。

そこで本論文では、オペレーションズ・リサーチを用いた病棟看護師の勤務表自動作成の手法を考案する。0-1整数計画法の問題として定式化し、PC上に実装されている数理計画ソフトウェアを用いた解法で作成する。さらに、この問題をある医科大学病院の3交替制勤務を行っている部署のシフト作成条件を用いて行う。

2 病棟看護師勤務表

勤務表は、縦軸に看護師氏名や番号、横軸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文字や記号を入力することによって勤務スケジュールが決定していく。勤務を決定していく際に最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。これについては、池上氏の論文 [3] に従って以下2つのことが挙げられる。

1. 「縦の条件」: 毎日の各勤務のメンバー構成で質を守る。
2. 「横の条件」: 各看護師についての勤務スケジュール。どの看護師にとっても毎日1番よいコンディションで勤務に出てこられるようなスケジュールを組むことも看護の質を守る大きな要素といえる。

勤務表作成の難しさは、看護師の数が限られている中で、この縦の条件と横の条件を同時に満たそうとすることにある。

3 ナース・スケジューリング問題

3.1 勤務割当ての原則

勤務割当ての原則としては、以下の5つの条件が挙げられる。

1. 勤務希望を満たすこと。

2. 毎日の各勤務に必要な人数を確保すること。
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こと。
4. 各看護師について各勤務の回数が決められた範囲であること。
5. 連続勤務禁止パターン（後述）を入れないように割当てること。

2~3は、各シフトの業務に支障を起こさないための縦の条件である。

4~5は、各看護師の勤務の負荷を考慮する横の条件である。

3.2 診療報酬と目的関数

ナース・スケジューリング問題のモデルを考えると、目的関数の設定にいくつかの選択肢が考えられる。病院を経営する側から考えるとコスト最小化の視点が考えられる。看護師数の最小化もこれと同じ目的とみなすことができる。しかし、勤務表作成においては、コスト最小化の要素は通常は含まれていない。コストは看護師勤務表作成以前の看護師配置人数で決まっている。

病院が雇用する看護師数は、厚生労働省が定めた診療報酬に大きく依存する。診療報酬 [4] とは、医療保険から医療機関に支払われる治療費のことであり、1点10円で、すべての医療行為などについて点数が決められた報酬の対価である。それには、医療の質や安全を確保する費用、医療従事者の人件費が含まれており、看護師の配置人数も決められている。看護師不足解消への対応が重視され、平成20年度に診療報酬改定が行われた。患者7人に対して看護師1人の看護基準を満たした病院が算定できる7対1入院基本料に看護必要度を導入した。現在、15対1、13対1、10対1、7対1入院基本料があり、「看護必要度」基準を満たす場合に算定するとされた入院基本料は、それぞれ1日954点、1092点、1269点、1555点である。

これらを満たす最小限の看護師数が病院側にとっての最小コストとなり、この数をもって病院の人事は看護師を各部署に配置している。よって目的関数はコスト最小化ではなく、厳しい制約条件の中で、勤務の希望を満たす満足度最大化とする。

3.3 問題の解法

ここでは、ある医科大学病院で採用している条件を満たす問題について考える。

ある医科大学病院では、シフト作成対象者の人数が毎月25名前後であり、日曜日からは始まる28日間分の勤務シフトの割当てを行う。それぞれの希望と縦、横からの条件を少ない人数で満たす割当てを行うことは、大規模で複雑な問題である。これらの最適配置を一度に求めるにはあまりにも、問題が複雑すぎる。

そこで、本研究では勤務割当ての原則に優先順位をつけ、優先されるものの最適配置を行うことで作成者の負担を軽減できるシステムを実現する。

今回勤務割当ての対象となる、優先されるものを挙げる。

1. 勤務希望を満たす。
2. 土・日曜日・祝日に日勤勤務者を割当てる。
3. 準夜勤務者を割当てる。
4. 深夜勤務者を割当てる。
5. 日曜日・祝日に勤務が休みとなる日数を平等に割当てる。
6. 土曜日に勤務を行う日数を平等に割当てる。
7. 夜勤を行う日数を上限値内で割当てる。
8. 準夜勤と深夜勤を行う日数がほぼ等しくなるように割当てる。
9. 連続禁止パターンを入れないように割当てる。

割当てのアプローチとして、業務に支障のない各諸条件を考慮し、目的関数としては、勤務希望を満たす満足度最大化問題として定式化を行う。

これらは、師長にインタビューを行い、様々な定式化を試みて実際の勤務表を作成しながら議論を繰り返し、たどり着いた解法である。実際に与えられた条件をすべて満たすことが難しいことから、そのような解法に至った。また、前月の勤務表の最後の一週間分が与えられ、これらの条件の下でスケジュールを組んだ。

その問題を 0-1 整数計画法として LINDO 社の数理計画ソフト (What's Best!9.0.3.3) を用いて、最適配置を求める。さらに、基礎データの受渡し、結果表の出力等を VBA プログラムにより自動化する。

4 ナース・スケジューリング問題のモデル

4.1 記号の定義

定数

- T : スケジュール対象となる日の集合
 $T = \{1, 2, \dots, w\} (w = 28)$
 T_1 : 土曜日の集合 $T_1 \subset T$
 T_2 : 日曜日の集合 $T_2 \subset T$
 T_3 : 祝日 (振替休日を含む) の集合 $T_3 \subset T$
 T_4 : 日・月曜日・祝日の集合 $T_4 \subset T$
 T_5 : 日曜日・祝日の集合 $T_5 \subset T$
 T_6 : 土・日曜日・祝日の集合 $T_6 \subset T$
 T_7 : 日曜日・祝日を除いた日の集合 $T_7 \subset T$
 T_8 : 土・日曜日・祝日を除いた日の集合 $T_8 \subset T$
 N : スケジュール対象となる看護師の集合
 $N = \{1, 2, \dots, n\}$
 N' : 休み希望の日数が 2 日以内の看護師の集合
 $N' \subset N$
 N'' : 休み希望の日数が 3 日以上 of 看護師の集合
 $N'' \subset N$
 N''' : 土曜日の勤務希望の日数が 4 日以外の看護師の集合
 $N''' \subset N$

S : 勤務の種類集合 $S = \{1, 2, \dots, s\} (s = 9)$

S_p : 2 日間に連続が禁止されているパターンの集合

$$S_p = \{(\sigma, \tau) | \sigma, \tau \in S\} \\ = \{(1, 3), (9, 3), (5, 3), (2, 3), (3, 6), (2, 6), (3, 4), (3, 8), (4, 2), (8, 2), (2, 4), (2, 8)\}$$

M : 連続パターンを禁止する日数の集合

$$M = \{k_1, \dots, k_m\} (m = 4) \\ k_1 = 1, k_2 = 2, k_3 = 3, k_4 = 6$$

G_r : グループ r に属する看護師の集合 $r = 1, 2, \dots, 6$

a_{ns} : 勤務 $s \in S$ に対する看護師 $n \in N$ の勤務回数の下限

b_{ns} : 勤務 $s \in S$ に対する看護師 $n \in N$ の勤務回数の上限

β_n : 勤務の種類が $s = 2$ 及び $s = 3$ の看護師 $n \in N$ の勤務回数の上限

δ_t : 勤務の種類が $s = 1$ 及び $s = 9$ の $t \in T_5$ 日の人数の上限

e_{rst} : $t \in T$ 日の勤務 $s \in S$ に対するグループ $r \in R$ からの下限必要人数

f_{rst} : $t \in T$ 日の勤務 $s \in S$ に対するグループ $r \in R$ からの上限必要人数

g : スケジュール対象となる休みの日に勤務を休みとする日数

h : スケジュール対象となる土曜日に勤務を割当てる日数

Q_{nst} : 看護師 $n \in N$ が $t \in T$ 日に勤務 $s \in S$ をしたときの満足度

$$H_{nst} = \begin{cases} 1: & \text{看護師 } n \in N \text{ が } t \in T \text{ 日に} \\ & \text{勤務 } s \in S \text{ を希望する} \\ 0: & \text{看護師 } n \in N \text{ が } t \in T \text{ 日に} \\ & \text{勤務 } s \in S \text{ を希望しない} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{nst} = \begin{cases} 1: & \text{看護師 } n \in N \text{ が } t \in T \text{ 日に} \\ & \text{勤務を } s \in S \text{ をするとき} \\ 0: & \text{看護師 } n \in N \text{ が } t \in T \text{ 日に} \\ & \text{勤務を } s \in S \text{ をしないとき} \end{cases}$$

ここで、勤務 $s \in S$ の種類を紹介する。

- $s = 1$: 週休
- $s = 2$: 準夜勤
- $s = 3$: 深夜勤
- $s = 4$: 日勤
- $s = 5$: 遅出
- $s = 6$: 午前半日勤務
- $s = 7$: 午後半日勤務
- $s = 8$: 研修
- $s = 9$: リフレッシュ休暇・年休
- $s = 10$: 職務免除

次に、グループ r の種類を紹介する。

- $r = 1$:スキルレベル 5
- $r = 2$:スキルレベル 1~4 から師長のみ除く
- $r = 3$:スキルレベル 2~4
- $r = 4$:スキルレベル 4 と 5
- $r = 5$:スキルレベル 1 から師長のみ除く
- $r = 6$:全体から師長のみ除いた

4.2 定式化 1

以下のような定式化を与えることができる。この定式化 1 に加え、連続勤務禁止パターンを守る制約条件も追加する必要があるが、それらは次小節で示してある。

maximize

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} Q_{nst} x_{nst} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{s \in S} x_{nst} \leq 1 \quad n \in N \quad t \in T \quad (2)$$

$$e_{r2t} \leq \sum_{n \in G_r} x_{n2t} \leq f_{r2t} \quad r = 1, 5, 6 \quad t \in T \quad (3)$$

$$e_{r3t} \leq \sum_{n \in G_r} x_{n3t} \leq f_{r3t} \quad r = 2, 4, 5, 6 \quad t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{n \in G_r} x_{n4t} = e_{r4t} \quad r = 1, 3, 5, 6 \quad t \in T_6 \quad (5)$$

$$\sum_{n \in N} x_{n1t} = \sum_{n \in N} H_{n1t} \quad t \in T_7 \quad (6)$$

$$\sum_{n \in N} x_{n4t} = \sum_{n \in N} H_{n4t} \quad t \in T_8 \quad (7)$$

$$\sum_{n \in N} x_{nst} = \sum_{n \in N} H_{nst} \quad s = 5, 6, \dots, 10 \quad t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{s=1,9} x_{nst} \leq \delta_t \quad t \in T_5 \quad (9)$$

$$a_{ns} \leq \sum_{t \in T} x_{nst} \leq b_{ns} \quad n \in N \quad s = 2, 3 \quad (10)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{s=2,3} x_{nst} \leq \beta_n \quad n \in N \quad (11)$$

$$\sum_{t \in T_5} x_{n4t} \geq g \quad n \in N' \quad (12)$$

$$\sum_{t \in T_5} x_{n4t} \geq 1 \quad n \in N'' \quad (13)$$

$$\sum_{t \in T_1} \sum_{s=2}^8 x_{nst} \leq h \quad n \in N''' \quad (14)$$

$$x_{n3t} \leq x_{n3,t-1} + x_{n4,t-1} \quad n \in N \quad t \in T_4 \quad (15)$$

$$x_{nst} \in \{0, 1\} \quad n \in N \quad s \in S \quad t \in T \quad (16)$$

各式の意味は以下の通りである。

(1) 勤務希望満足度の合計最大化

(2) 看護師 n の t 日に勤務 s を 1 つ以下割当てる

(3) t 日の準夜勤勤務 ($s = 2$) におけるグループ r からの人数が上下限の幅におさまる

(4) t 日の深夜勤勤務 ($s = 3$) におけるグループ r からの人数が上下限の幅におさまる

(5) t 日の日勤勤務 ($s = 4$) におけるグループ r からの人数が下限値におさまる

(6) t 日に休み ($s = 1$) 希望者しか割当てられない

(7) t 日に日勤勤務 ($s = 4$) 希望者しか割当てられない

(8) t 日に勤務 s 希望者しか割当てられない

(9) t 日の休み ($s = 1, 9$) の人数が上限値におさまる

(10) 看護師 n の勤務 s の数が上下限の幅におさまる

(11) 看護師 n の夜勤 ($s=2,3$) の日数が上限値におさまる

(12) 休み希望の日数が 2 日以内の看護師 n の日曜日・祝日の休みの日数を満たす

(13) 休み希望の日数が 3 日以上 of 看護師 n の日曜日・祝日の休みの日数を 1 日以上にする

(14) 土曜日に (希望を出している人以外) 決められた日数以上勤務を割当てられない

(15) t 日の深夜勤勤務 ($s = 3$) の前日は深夜勤勤務 ($s = 3$) か日勤勤務 ($s = 4$) である

(16) x_{nst} は 0-1 変数である

4.3 定式化 2 制約条件 (連続勤務禁止パターン)

勤務表シフト作成にあたり、禁止される勤務パターンが入らないようにする必要がある。

$$\sum_{s=2}^8 \sum_{\beta=1}^7 x_{ns,t+\beta-7} \leq k_4 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_4\} \quad (17)$$

$$\sum_{s=2}^3 \sum_{\beta=1}^4 x_{ns,t+\beta-4} \leq k_3 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_3\} \quad (18)$$

$$\sum_{s=2}^3 \sum_{\beta=1}^7 x_{ns,t+\beta-7} \leq k_3 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - 2k_3\} \quad (19)$$

$$\sum_{\beta=1}^3 x_{ns,t+\beta-3} \leq k_2 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_2\} \quad s = 2, 3 \quad (20)$$

$$x_{n\sigma,t-1} + x_{n\tau,t} \leq k_1 \quad \sigma, \tau \in S \quad (\sigma, \tau) \in S_p \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_1\} \quad (21)$$

$$x_{ns,t-2} + x_{nst} \leq k_1 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_1 - 1\} \quad s = 2, 3 \quad (22)$$

$$x_{n2,t-2} + x_{n3t} \leq k_1 \quad n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - k_1 - 1\} \quad (23)$$

No.	氏名	11 (日)	12 (月)	13 火	14 水	15 木	16 金	17 土	18 (日)	19 月	20 火	21 水	22 木	23 金	24 土	25 (日)	26 月	27 火	28 水	29 木	30 金	31 土	1 (日)	2 月	3 火	4 水	5 木	6 金	7 土	日 動	準 夜	深 夜	週 休	前 半	後 半	遅 出	休 日	研 修	
1	P1	×	●	リ	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	0	1	1	5	0	0	0	1	0	
2	P2	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	P3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	P4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	P5	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	P6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	P7	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	P8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	P9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図 1 自動作成された勤務表 (2009 年 1 月 11 日 (日) ~ 2 月 7 日 (土) 25 名)

$$x_{n3,t-6} + x_{n3,t-3} + x_{n3t} \leq k_2$$

$$n \in N \quad t \in \{1, \dots, w - 3k_2 - 1\} \quad (24)$$

各式の意味は以下の通りである。

- (17) 7 連続勤務を禁止する。
- (18) 夜勤の 4 連続勤務を禁止する。
- (19) 夜勤は 7 日間に 3 日以内とする。
- (20) 準夜勤と深夜勤それぞれの 3 連続勤務を禁止する。
- (21) 2 日間に連続禁止パターンが割当てられない。
- (22) 準夜勤と深夜勤それぞれの 1 日置き勤務を禁止する。
- (23) 準夜勤, 深夜勤の 1 日置き勤務を禁止する。
- (24) 深夜勤の 2 日置き 3 回連続勤務を禁止する。

5 実行結果と考察

今回満足度最大化問題として定式化された 0-1 整数計画問題を解く際に用いた PC の CPU は, Intel(R)Pentium(R)M 1.30GHz, メモリ 768MB, OS は Microsoft Windows XP Professional SP2 である。

2009 年 1 月 11 日 (日) ~ 2 月 7 日 (土) の勤務シフトを作成した。25 名の看護師がスケジュール対象者となった。最適解の結果から VBA により勤務表を作成したものの一部が図 1 である。スケジュール対象者の中には妊娠中の看護師が 4 名おり、夜勤 (準夜勤と深夜勤) 回数を少なくした。そのうち 1 名は全く深夜勤勤務を行うことができない。これらを考慮して、夜勤日数の上下限值など必要なデータを決定した。問題の規模は、変数の数が 7000, 制約条件の数が 12939 である。LINDO 社の数理計画ソフト What's Best!9.0.3.3 を用いてこの問題を約 4 分 30 秒で解くことができた。深夜勤については、新人は一人前とみなしていない条件をつけ加えた。

同じように 2008 年 8 月 24 日 (日) ~ 9 月 20 日 (土) の勤務シフトを作成し、23 名の看護師のスケジュールを作成した。この問題の規模は、変数の数は 6440, 制約条件の数は 11904 であり、同じ PC 上の What's Best!9.0.3.3 を用いて約 11 分 30 秒で解けた。

割当てを行った結果、すべての条件下で、各勤務を割当てることができた。灰色のセルは勤務希望が満たされているものであり、勤務希望が満たされていない場合は、セルが黄色になるシステムになっているが、黄色のセルはなく、すべての勤務希望を満たす最適配置が行えた。

6 おわりに

本論文では、実際にある医科大学病院における勤務シフトの割当て原則に従って、ナース・スケジューリング問題の満足度を最大化する 0-1 整数計画法の問題として定式化し、これを PC 上に実装した。

勤務表作成を行った部署の 3 交替制スケジューリングのモデルは、短い時間で実行可能な勤務表を作成することを可能にした。勤務表を自動化することで得られる効果としては、まず、勤務表作成時間の短縮があげられる。勤務表作成時間を軽減し、その分を他の業務に有効活用することができるようになる。次に、条件に適合した勤務表を作成できるので、公平な勤務表が作成できることである。

今回は最適解を得ることができ、なおかつすべての勤務希望が満たされる非常に質の良い勤務表を得ることができた。しかし、ナース・スケジューリング問題は、膨大な数の制約条件を持ち、実行可能解が存在するかどうかの保証がないような問題であるから、制約条件を目的関数に取り込み、優先する重み付けなどの工夫が必要となる。また、解の評価尺度が曖昧な問題に対しては、勤務表作成者個人の目的や評価尺度を引き出せるようなシステムが必要である。そして、実行可能解が得られない場合には、原因となっている拘束条件を把握出来るようにしなければならない。

今後の発展として、実用化に向けユーザインターフェースを現場の勤務シフト作成者と話し合い、VBA を用いて実用性かつ汎用性のある実際的なシステムを構築していき、勤務表作成業務の効率化と病院の運営の下支えとなることが考えられる。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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, 41 (1996), 436-442.
- [3] 池上敦子, 丹羽明:『ナース・スケジューリングに有効なアプローチ - 2 交替制アルゴリズムにおける実現 -』, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 41 (1998), 572-586.
- [4] 日本看護協会:『協会ニュース』, 488(2008), 1-3.