

医師当直表作成における ナース・スケジューリングの応用

01009840 成蹊大学 池上敦子 IKEGAMI Atsuko

1 はじめに

病院においては、入院患者や急患にそなえ、24時間切れ目の無い医療看護体制が必要とされる。医師には夜勤がないものの、当直制をとって必ず何人かの医師が病院に泊まることにより、非常時に対応できる体制をとっている。ナースは、2交替、3交替といった交替制（ローテーション）勤務により夜間に必要な看護をおこなっている。

著者は、これまでにナースの交替制勤務表を作成する問題（ナース・スケジューリング）に取り組み、これを効率よく解くアプローチ方法について検討してきたが、この考え方を、医師の当直表作成問題に適用することを考えた。

本発表では、作成に多くの時間を費やすといわれている当直表作成問題のモデル化を紹介し、その構造が、ナース・スケジューリングと同様なブロック型（block-angular）の問題クラスに属することを示す。さらに、この問題を、ナース・スケジューリングで提案したアプローチ方法 [1] を利用して解いた結果を報告する。

2 当直表作成問題

病院で働く医師は、通常の昼間の勤務の他に、月に数回の当直がある。当直表作成担当者は、各医師の負荷を考慮しながら、適切な人数の医師とスキルレベルを考慮した組合せを考えて、毎日の当直に割り当てなければならない。医師は、一般に、所属する科やスキルレベルでグループ化されており、スケジューリング期間の日も、休日や土曜や平日といったようにグループ化され、各医師がこれらの日にあたる当直の数は、合計数とともに考慮されなければ

ならない。そして、医師の健康を脅かすような当直パターン（例えば、連日での当直）を避けなくてはならず、さらに、当直希望日や不可能日を考慮しなければならない場合もある。

医師の当直表作成問題の拘束条件は、以下のとおりである。

$$a_{rj} \leq \sum_{i \in G_r} x_{ij} \leq b_{rj} \quad r \in R, j \in N \quad (1)$$

$$c_{iq} \leq \sum_{j \in N_q} x_{ij} \leq d_{iq} \quad i \in M, q \in Q \quad (2)$$

$$x_{ij} = \tau \quad (i, j) \in F_\tau, \tau \in \{0, 1\} \quad (3)$$

$$\sum_{\alpha=1}^h (2k_\alpha - 1)x_{i, j-h+\alpha} \leq \sum_{\alpha=1}^h k_\alpha - 1 \quad (4)$$

$$i \in M, j \in N,$$

$$(k_1, k_2, \dots, k_h) \in P_h, h \in \{2, 3, \dots\}$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i \in M, j \in N \quad (5)$$

ここで、 $x_{ij}, i \in M, j \in N$ は、医師 i が j 日に当直をするときに 1、そうでないとき 0 となる意思決定変数であるが、 $j \leq 0$ のときには、すでに固定されている前月末のスケジュールを表す定数となっている。 M は、スケジューリング対象とする医師の集合、 N は、スケジューリング期間の日の集合、 R は、所属やスキルのグループの集合、 G_r は、グループ $r \in R$ に所属する医師の集合、 Q は、休日や土曜や平日といった日のグループの集合、 $N_q \subseteq N$ は、日のグループ $q \in Q$ に属する日の集合、 $a_{rj}, b_{rj}, r \in R, j \in N$ は、グループ r の中で、 j 日に当直に入る医師の数のそれぞれ下限値と上限値、 $c_{iq}, d_{iq}, i \in M, q \in Q$ は、医師 i が、グループ q の日に当直する回数のそれぞれ下限値と上限値である。そして、 F_1, F_0, P_h

を, それぞれ, $F_1 = \{(i, j), i \in M, j \in N \mid \text{医師 } i \text{ は } j \text{ 日に当直に入る}\}$, $F_0 = \{(i, j), i \in M, j \in N \mid \text{医師 } i \text{ は } j \text{ 日に当直ができない}\}$, $P_h = \{(k_1, k_2, \dots, k_h), k_1, k_2, \dots, k_h \in \{0, 1\} \mid k_1, k_2, \dots, k_h \text{ は, 禁止されている当直パターンを表す, 長さ } h \text{ の } 01 \text{ パターン (1 が当直に入り, 0 が当直に入らないことを表す)}\}$, $h \in \{2, 3, \dots\}$ とする.

この問題は, 独立に扱うことができる個々の医師に関する拘束条件 (2)(3)(4)(5) がブロック対角構造 (diagonal-block structure) を持ち, 毎日のメンバーを揃える拘束条件 (1) が, 結合制約 (linking constraints) となっている.

3 Subproblem-centric approach

Subproblem-centric approach は, 結合制約を満たさない度合いの最小化を目的関数に設定し, 各ブロックに対応する部分問題を繰り返し解くことにより実行可能解を得るという考え方である [1]. 人数分だけ設定される部分問題は, ある試行解に対して, 他の部分問題の解を現在試行解のまま固定した下で, 結合制約を満たしていない度合い (不足人数や過剰人数の総和) 最小化を目的関数とする. そして, 各部分問題を解いた中で, 最も良い解を次の試行解に選ぶということを繰り返す.

このアプローチに基づくアルゴリズムで, ナース・スケジューリングに有効だったアルゴリズムを利用する. このアルゴリズムでは, 部分問題を解くために, スケジューリング期間を任意の長さ (例えば7日) に切り分け, それぞれの期間において, 各医師の実行可能当直パターンを作成し, それらをつなぎ合わせるために分枝限定法を利用する. 深さ優先探索をおこない, 各期間では, 最も結合制約を満たす方向に向うパターンから選び, 下限値は, まだ選択されていない期間について, 最も結合制約を満たす方向に向うパターンを選べるものとして (パターンのつなぎにおいて, 禁止パターン条件を緩和して) 計算する.

アルゴリズムは, 空白の表からスタートし, 解が構築されるまでは, まだ当直が割り当てられていない医師についてだけ部分問題を解き, 最も良い解を次の試行解として採用する. 構築後は, 全部分問題を対象とするが, 部分問題を分枝限定法で解いている最中に, 現在の解より良い解が見つければ, その解を次の試行解として採用し, 次のイテレーションに移る.

以上のアルゴリズムで, ある病院の産婦人科の当直表を作成した. 産科と婦人科の医師は, それぞれスキルレベルが3段階に分けられており, これらをバランスよく配置しながら毎日の必要人数を満たすよう条件 (a_{rj} と b_{rj}) が設定された. 禁止パターンは2パターンあり, 各医師には, 当直回数の下限值と上限値 (c_{iq} と d_{iq}) がスケジューリング期間全体と休日と土曜の3つに分けて設定された. 矛盾した条件については, スケジューリング前にチェック機能をつけてあったので, これらの条件設定に対し, 数回の変更 (一部の c_{iq} と d_{iq} の変更) をおこなった後, 実行可能な解を得ることができた.

4 おわりに

当直表作成問題は, ナース・スケジューリングと異なり, 医師の数が足りない場合, 医師の当直の回数を増やして対応することができる. また, ナース・スケジューリングより拘束条件が少ないため, 提案するアルゴリズムの利用により, 非常に短い時間 (数秒) で解を得ることができることから, 条件を少しずつ変更しながら繰り返し解くことで, 実際に利用できる当直表を効率よく作成することができる.

参考文献

- [1] Atsuko Ikegami, Akira Niwa : A Subproblem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem, *Mathematical Programming Series B* (掲載予定).