

## ナーススケジューリングにおけるスケジュール改善手法の提案

川上 貴史<sup>†</sup> 原田 拓<sup>‡</sup><sup>†</sup>東京理科大学大学院 理工学研究科 経営工学専攻<sup>‡</sup>東京理科大学 理工学部 経営工学科

### 1.はじめに

ナーススケジューリング問題(NSP)は、ある期間におけるナースの勤務シフトを決定する問題である。各シフトの人数の確保やナースの勤務パターンなど、スケジューリングにおいて考慮すべき制約条件が多いため、全ての制約条件を満たした勤務シフト(実行可能解)を求めるることは難しい。そのため、勤務シフトを人間が作成することは非常に負担が大きい。そこで、NSP に対して様々なスケジュール作成手法が提案されている[1][2][3][4][5]。その中で、制約条件が厳しい状態においてできる限り制約条件を満たしたスケジュールを求めるために、制約条件に重みを付加する方法がある[1][2][5]。

本研究では、制約条件が厳し過ぎるために実行可能解が存在しない過制約の状態において、緩和する対象となる制約条件を決定し、その制約条件を緩和したもとでスケジュールを作成する 1 つの手法を提案する。さらに、緩和した制約条件のもとで実行可能なスケジュールが複数存在する場合において、その中で類似しない多様な複数スケジュールを求める手法を提案する。

### 2.スケジュール改善

#### 2.1 制約緩和

一般に、ある期間(本研究では 1 ヶ月を 1 期間とする)において、ナースは日勤や休日などといったシフトの種類を何日か希望することができる。これをナースの希望と言うこととする。過制約の状態において制約条件を緩和する場合、その対象として最も多く挙がったのが「ナースの希望」であった[1]。

そこで、本研究では、過制約の場合に、制約条件を満すことの妨げになる希望を見つけ、その希望を変更することでスケジュールを作成する手法を提案する。その際、ナース間における公平性を考慮すべきであり、変更の対象となるナースに偏りができる限り少なくなるようにする。

本研究では、スケジュールの作成には確率的山登り法(SHC)を用いる。

まず、 $t$  期においてナース  $i$  の希望がどれだけ満たされているかを希望充足度(充足度)  $S_i^t$  によって表す。 $t$  期にナース  $i$  が提示した希望の数を  $E_i^t$ 、そのうち充足された希望の数を  $A_i^t$  として式(1)によって表す。充足度  $S_i^t$  は  $n$  期前のスケジュールまで値を持ち、保存される。

$$S_i^t = \begin{cases} 1 & \text{if } E_i^t = 0 \\ A_i^t / E_i^t & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (1)$$

A Proposal of Schedule Improving Method in Nurse Scheduling Problem

<sup>†</sup>Takashi Kawakami, Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science

<sup>‡</sup>Taku Harada, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

```

nurse : ナース数
day :  $t$  期における日数
c = 0 : 変更候補数
Xn : スケジュール
1:   for each  $i \in \text{nurse}, j \in \text{day}$ 
2:     if  $F_{ij}^t \neq 0$  and  $e_{ij}^t = 1$  then
3:        $A_{ij}^t = A_{ij}^t - 1$ 
4:        $S_i^t, P_i$  を再計算
5:       c = c + 1
6:       変更データを  $X_c$  として保存
7:     end if
8:   end for
9:    $X_n(n:1,2,\dots,c)$  の  $P_i^t$  に関して標準偏差を計算
10:  最小の標準偏差を持つ  $X_n$  を選択
※  $X_n$  のときに 2 行目が真であるナース  $i$  が変更対象

```

図 1: 変更対象の選択アルゴリズム

作成したスケジュールにおいて満足されていない制約条件がある場合、 $t$  期におけるナース  $i$  の  $j$  日に対して値  $F_{ij}^t$  を増加させる。制約条件を全て調べたスケジュール内の  $F_{ij}^t$  に対しては式(2)が成立する。なお、 $N$  は満足されていない制約条件の数である。

$$F_{ij}^t = \begin{cases} 0 & \text{if all constraints in } i, j \text{ are satisfied} \\ N & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (2)$$

実行可能解が見つかないと判断したとき、 $F_{ij}^t$  が 0 でなく、かつナースが希望を提示している箇所が、変更対象の候補となる。候補が 2 箇所以上出現した場合に変更対象を選択するアルゴリズムを図 1 に示す。なお、 $t$  期においてナース  $i$  が  $j$  日に希望を提示しているかどうかを  $e_{ij}^t$  で表し、提示しているときは 1、そうでないときは 0 とする。また、パラメータ  $P_i$  は式(3)で表現される。

$$P_i = \prod_i^n S_i^t \quad \dots (3)$$

複数ある候補の中から対象を選び出す。各候補の希望をそれぞれ変更できるようにする。このとき、希望を変更されたナースの充足度  $S_i^t$  は式(1)により低下し、パラメータ  $P_i$  も式(3)より変化する。ここで毎期希望を変更されているナースがいれば、不公平な扱いとなる。これを防ぐため各候補について  $P_i$  の標準偏差を求め、標準偏差が最小、すなわちナース毎に偏りの最も少ない変更を取ることができる。ナースの希望を変更できるようにした後、再度探索を行う。以降、実行可能なスケジュールを得るまで繰り返す。

#### 2.2 複数スケジュールの探索

制約条件を緩和した上でスケジュールを求めた場合、実

行可能なスケジュールが複数存在する場合がある。この場合、その中で類似しない多様な複数スケジュールを提示することは、人間が最終的にスケジュールを決定する上で非常に有益である。

そこで、本研究では、類似しない多様な複数スケジュールを求める手法を提案する。提案する手法では、多様な複数スケジュールの探索においてシェアリング関数[6]を用いる。シェアリング関数は探索空間内でスケジュールどうしの距離を計測し、それをスケジュールの評価値へ反映する。スケジュール間の距離はハミング距離によって評価し、この距離が近いほどスケジュールが類似しているとする。スケジュール  $x_i$  と  $x_j$  の距離  $D(x_i, x_j)$  を式(4)で表す。

$$D(x_a, x_b) = \sum_{i,j} h_{ij} \quad \begin{cases} h_{ij} = 0 & \text{if } y_{aij} = y_{bij} \\ h_{ij} = 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots \quad (4)$$

各スケジュール間の距離を計測した後、定められた距離の閾値  $d$  を基に類似したスケジュールの存在を調べる。存在するならばその距離に応じてペナルティを加える。空間内にある  $m$  個のスケジュールのうち、あるスケジュール  $l$  のペナルティ  $\rho_l$  を式(5)によって計算する。式(5)では、スケジュール  $l$  にある程度類似したスケジュールが多く存在するほど大きなペナルティが課せられるようになる。

$$\rho_l = \sqrt{1 + \sum_{a(a \neq l)}^m \max(\{d - D(x_l, x_a)\}, 0)^2} \quad \dots \dots (5)$$

複数スケジュールの探索に関しては、まず 1 つのスケジュール  $x$  を生成し、それを基に他のスケジュールを生成する。このとき他のスケジュールは、期間内の勤務パターンをナース単位でランダムに入れ替えたものとする。ただし、希望やセミナーなど予定(固定)されているシフトについてはこの限りではない。これは考慮すべき制約条件の多くが横(すなわちナース単位)に関して関連性が強いためである。ナース単位で要素を入れ替えることで、効果的な勤務パターンが保存され、探索の効率化につながることが期待できる。

### 3. 実験および考察

提案した手法の有効性を検証する。実験にはデータ3Shift-Data1[2]を基に、それに独自に変更を加えたものを利用する。過制約の状態にするために、ナースの希望休日に関しても変更を加えた。また、3Shift-Data1とはシフトの連続日数、グループごとの勤務するナースの上下限において異なる。ナースの予定・勤務希望を表1に示す。なお、/：休日、-：日勤、e：準夜勤、n：深夜勤、+：その他の勤務をそれぞれ表す。また、シフトの連続日数の上限・下限を、休日：5日・1日、日勤：4日・1日、準夜勤：3日・1日、深夜勤：2日・1日とした。表1において薄い網掛け(黄色)部分が予定のある勤務、濃い網掛け(青色)部分がナースの希望した勤務である。変更の対象となりうるのは濃い網掛け(青色)部分である。

実行結果として、複数提示されたスケジュールのうち 1 つを表 2 に示す。この実験では 9 日の勤務人数についてグループ A の人数が不足し、変更を行わない限り実行可能なスケジュールは得られない。表 2 では 13 番ナースの希望に強制的な変更を行い、実行可能なスケジュールを得ることができた。9 日に希望のあるナースは複数いるが、グループ B でなくグループ A から対象を選んでいること、その中でも

表1：各ナースの予定、希望勤務

表2：作成されたスケジュール

希望の多い 13 番を選んでいることからも、適切で公平性を考慮した変更を行っていると言える。

#### 4. まとめ

本研究では、過制約の状態にある NSP に対して、制約条件を緩和することによってスケジュールを求める手法を提案した。さらに、多様な複数スケジュールを求める手法を提案した。

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 - , 博士学位論文, 2001
  - [2] 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 - , 数理統計, Vol.53, No.2, pp.231-259, 2005
  - [3] 金川明弘, 山根千佳, 高橋浩光 : バイナリーニューラルネットによるナース・スケジューリング問題の基本解の導出, 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol.46, No.SIG10, pp.41-47, 2005
  - [4] 長谷川精也 : IP-based Local Search によるナーススケジューリング問題の近似解法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-D No.10, pp.2251-2259, 2006
  - [5] K.Nonobe and T.Ibaraki: An Improved Tabu Search Method for the Weighted Constraint Satisfaction Problem, INFOR 39, pp.131-151, 2001
  - [6] J.Horn, N.Nafpliotis, D.E.Goldberg: A Niched Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization, Proc. of First IEEE Conference on Evolutionary Computation, 1994, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Vol.1, pp.82-87