

## 制約数が多いホテル従業員スケジューリング問題に対する最適化法の検討 Optimization Methods for Hotel Employee Scheduling Problems with Large Number of Constraints

安和 良祐<sup>1)</sup> 岡崎 威生<sup>1)</sup>  
Ryousuke Awa Okazaki Takeo

### 1 はじめに

ホテルにおける従業員シフトの作成では、各従業員の能力希望休み等の多様な条件を考慮しながら、必要とされる従業員の確保を行わなければならない。しかし、このような条件全てを考慮した上で勤務表を作成することは難しく、実際ある部署でのシフト作成では担当者は1部署あたり1日の時間を使いシフトを組んでおり、作成担当者の負担となっている。このような理由から、ホテルにおけるシフト作成問題を解くためのアルゴリズムの開発が望まれている。

ホテルにおけるスケジューリング問題の難しさは、特徴的で厳しい制約を遵守した上で多様な要求を可能な限り充足する必要があることにある。ここで厳しい制約の例として、多くのホテルでは営業日のほとんどの時間帯がシフト割り当て対象の時間となることから、翌日の勤務時間次第では従業員に対し大きな負担をかけることになる。そのため禁止されるシフトのパターンが存在する。例えば、ある従業員が夜から朝まで続くシフトに従事した後に朝や昼のシフトに入ってはいけないなどである。他にも、ホテルにおけるスケジューリング問題では少ない従業員の部署に対し多すぎるシフトを要求することがあり、これもホテルにおけるスケジューリング問題を難しくしている。

同じように全ての時間帯に対しシフトが設定される問題にナーススケジューリング問題がある。ナーススケジューリング問題ではシフト作成アルゴリズムに対する強いニーズから多くの研究が行われており、主に遺伝的アルゴリズムに代表されるヒューリスティックアルゴリズム [1][2][3] や、分枝限定法に代表される数理計画法の観点から提案 [4] が行われている。

本研究ではホテルにおけるシフト作成アルゴリズムの提案を目的に、遺伝的アルゴリズムと分枝限定法を手法をホテルにおけるスケジューリング問題に適用し、性能を比較することでホテルにおけるスケジューリング問題において最も効率的な最適化手法を検討する。

### 2 ホテル従業員スケジューリング問題

ホテルにおけるシフトスケジューリング問題では、各従業員の能力や希望休み等の多様な条件を考慮しながら、必要とされる従業員の確保を行わなければならない。本節ではホテルにおけるシフトスケジューリング問題のシフトの割り当て要求と従業員が持つ特性について説明する。

#### 2.1 要求項目

シフト表を作成する際、考慮すべき要求は大きく2種類に分類できる。シフトの質に関わるもの、従業員の労働環境に配慮するものである。以下にシフトの質に関わる要求を説明する。

**シフトの必要人数の確保：** 時間帯ごとに必要な人数を割り当てす必要がある。シフトを実行するための必要最低数を下回することは許されないが、従業員に不要な労働を強いることから、極端に多すぎる割り当てでも望ましくない。

**指名係りの割り当て：** 宿泊客から対応する従業員の指名が行われることがある。これを指名係りと呼ぶ。

**前回担当係りの割り当て：** 2度目以降の宿泊客に対し、前回担当した係りの割り当てを行う。

**チーフの割り当て：** 宴席など難しい対応が予想されるシフトに対しては、チーフの割り当てが望まれる。

**外国語対応人材の割り当て：** 外国語による案内が必要な宿泊客に、対象言語の能力を持つ従業員を割り当てることが望まれる。

次に従業員の労働環境に関する要求を説明する。

**不可能シフトへの割り当て禁止：** 従業員によって出勤できないシフトがある。これはシフト遂行能力や従業員の希望勤務時間によって設定される。

**翌日不可能なシフトへの割り当て禁止：** 営業日のほとんどの時間帯がシフト割り当て対象の時間となることから、翌日の勤務時間次第では従業員に対し大きな負担をかけることになる。そのため禁止されるシフトのパターンが存在する。例えば、ある従業員が夜から朝まで続くシフトに従事した後に即座に朝や昼のシフトに入ってはいけないなどである。

**勤務不可の日への割り当て禁止：** パートの従業員は仕事外の事情などで勤務できない日が設定されている。

**希望休みへの割り当て禁止：** 社員は規定日数を希望休みとして設定することができる。希望休みの設定についてあらかじめ人手不足が予想される繁忙期などを設定することはできない。しかし設定された日に対し割り当てを行うことは許されない。

**上限就業日数・時間を超える割り当ての禁止：** 従業員ごとに定められる上限就業日数や上限就業時間を超えて勤務することは許されない。

**上限連続勤務日数を超えての連勤の禁止：** 従業員ごとに定められる上限連続勤務は許されない。また、上限日数を超えずとも上限に近い日数の連続勤務は好ましくない。

**可能な限り2連休を作ること：** 夜勤や翌日の朝まで続くシフトが多く存在するため、飛び石休みは実質半日みの休日となる。これは従業員の労働環境の観点から好ましくない。

### 3 解法の比較

ナーススケジューリング問題で用いられる分枝限定法とGAを、ホテルにおける従業員スケジューリング問題に適用し、計算時間と得られた解集合の質で評価する。

1) 琉球大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, University of The Ryukyus

解集合の質を示す指標として HyperVolume (以下 HV) を用いる。HV とは目的関数空間上である解集合が支配する領域の大きさを示す指標である。この領域の値を求めるために、参照点と呼ばれるポイントを設定し、参照点を基準として解集合が支配する領域を求める。

### 3.1 適応問題

比較のために使用する問題は従業員数 26、シフト割り当て対象日 30 の問題である。制約条件としてシフトの必要人数の最低数の確保、不可能シフトへの割り当て禁止、翌日不可能なシフトへの割り当て禁止、勤務不可の日への割り当て禁止、希望休みへの割り当て禁止、上限就業日数・時間を超える割り当ての禁止、上限連続勤務日数を超えての連勤の禁止を設定する。ここで、ある日のシフトを回すために必要な従業員数について、最小割り当て数の 1.5 倍を最大割り当て数とする。目的関数には従業員間の労働時間平準化、シフト割り当て要求の充足、上限に近い連続勤務回数の最小化の 3 つを設定し同時に最適化を行う。

以下に問題で扱う記号を示す。

$M$ : 割り当て対象の従業員の集合

$D$ : 割り当て対象日の集合

$A$ : 割り当て対象のシフトの集合

$R$ : 割り当て要求の種類集合。本実験では、従業員の割り当て必要数、指名係り、前回係り、外国語対応人材の割り当てがこの集合を構成する

$x_{mda}$ : ある従業員  $m$  がある日  $d$  にシフト  $a$  に従事する時 1、それ以外で 0

$e_{da}$  ある日  $d$  のシフト  $a$  に必要な従業員割り当て必要数の最低人員

$t_a$ : あるシフト  $a$  の 1 回あたりの就業時間

$n_m^{time}$ : ある従業員  $m$  の標準的な月の就業時間

$l_m^{day}$ : ある従業員  $m$  が月に勤務できる最大日数

$l_m^{time}$ : ある従業員  $m$  が月に勤務できる最大時間

$l_m^{consecutive}$ : ある従業員  $m$  が可能な最大連勤日数

$w_r$  あるシフト  $r$  が充足されなかった時のペナルティの重さ。本実験では、従業員の割り当て必要数を 5、指名係り 8、前回係り 3、外国語対応人材の割り当てに 2 の重みを課す。

$c_{md}^{plus1}$ : ある従業員  $m$  がある日  $d$  に可能な最大連勤日数

以下に問題で扱う目的関数を示す。

従業員間の労働時間の平準化を評価する目的関数、 $F_{Leveling}$  について説明する。 $F_{Leveling}$  は、ある従業員  $m$  の就業時間  $\sum_{d \in D} \sum_{a \in A} t_a * x_{mda}$  と標準的な就業時間  $n_m^{time}$  の差が 5% 以上で超えるか判定する記号  $\alpha 1_m$  と、10% 以上で超えるか判定する記号  $\alpha 2_m$  を用いて以下のように表現する。

$$\alpha 1_m = \begin{cases} 1 & |\sum_{d \in D} \sum_{a \in A} t_a * x_{mda} - n_m^{time}| > (n_m^{time} / 20) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha 2_m = \begin{cases} 1 & |\sum_{d \in D} \sum_{a \in A} t_a * x_{mda} - n_m^{time}| > (n_m^{time} / 10) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$(m \in M)$

$$F_{Leveling} = \sum_{m \in M} \alpha 1_m + 2 * \alpha 2_m \quad (3)$$

上限に近い連続勤務の最小化度合いを評価する目的関数  $F_{Consecutive}$  を、ある従業員  $m$  がある日  $d$  に可能な最大連勤日数  $l_m^{consecutive}$  の連勤を行なっているか判定する記号  $c_{md}$  を用いて以下のように表現する。

$$c_{md} = \begin{cases} 1 & \sum_d^{d+l_m^{consecutive}} x_{mda} \leq l_m^{consecutive} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (m \in M, d \in D) \quad (4)$$

$$F_{Consecutive} = \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} c_{md} \quad (5)$$

シフト割り当て要求を充足度合いを評価する目的関数  $F_{Assignment}$  を、ある日  $d$  のあるシフト  $a$  において割り当て要求  $r$  が満たされていない度合い  $s_{dar}$  を用いて以下のように表現する。

$$s_{dar} = |\sum_{m \in M} x_{mda} - e_{da}| \quad (d \in D, a \in A, r \in R) \quad (6)$$

$$F_{Assignment} = \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} \sum_{r \in R} w_r * s_{dar} \quad (7)$$

以下に問題の制約条件を示す。

#### シフトの必要人数の確保

ある日  $d$  のシフト  $a$  について最小割り当て人数と最大割り当て人数の範囲内に収まるようにする。式を以下に示す。

$$e_{da} \leq \sum_{m \in M} x_{mda} \leq e_{da} * 1.5 \quad (8)$$

#### 不可能シフトへの割り当て禁止

本問題で扱う不可能シフトは長さが 2 日のパターンであるため、あるシフト  $a$  をある日  $d$  に行なった時、翌日  $d+1$  日に従事することができないシフトの一覧を示す。

表 1 各シフトに設定される翌日不可能シフト

$d$ 日のシフト	$d+1$ 日に禁止されるシフト
通し	なし
夜・翌朝	通し、翌朝のみ、お茶
翌朝のみ	通し、お茶
夜のみ	通し
お茶	なし

#### 割り当て禁止日

勤務不可・希望休みなどの理由で勤務が禁止される時、該当の日またはシフトに対し割り当てを行わない。

ある従業員  $m$  がある日  $d$  を希望休みまたは、勤務不可とすると、該当の日に対しシフトを行わないため以下の制約を設定する。

$$\sum_{a \in A} x_{mda} = 0 \quad (9)$$

また、ある従業員  $m$  があるシフト  $a$  勤務不可とするとき、該当のシフトに対し割り当てを行わないため以下の制約を設定する。

$$\sum_{d \in D} x_{mda} = 0 \quad (10)$$

**上限就業日数・時間を超える割り当ての禁止**

従業員ごとに設定される上限就業日数・時間を超える割り当てを禁止する。

ある従業員  $m$  に設定される労働日数  $l_m^{day}$  を超える割り当てが行われないように、以下の制約を設定する。

$$\sum_{d \in D} \sum_{a \in A} x_{mda} < l_m^{day} \quad (11)$$

ある従業員  $m$  に設定される労働時間  $l_m^{day}$  を超える割り当てが行われないように、以下の制約を設定する。

$$\sum_{d \in D} \sum_{a \in A} t_a x_{mda} < l_m^{time} \quad (12)$$

**上限連続勤務日数を超えての連勤の禁止**

$l_m^{consecutive}$  を超えて連勤を行う場合 1、それ以外の時 0 の値をとる記号  $c_{md}^{plus1}$  を用いて上限連続勤務日数を超えての連勤の禁止を以下のように表現する。

$$\sum_{m \in M} \sum_{d \in D} c_{md}^{plus1} = 0 \quad (13)$$

**3.2 遺伝的アルゴリズムの適用**

遺伝的アルゴリズムのようなメタヒューリスティクスを用いてスケジューリング問題を解く時、制約条件の扱いに注意する必要がある。本研究では実行不可能性を押し付けるセミハード制約として、シフトの質を守るための要求のうちシフト実行のための最小人数の配置を設定し、その他の制約条件をハード制約として表現した。以下に本研究で用いた遺伝的アルゴリズムの手順を示す。

初期個体生成ではハード制約とセミハード制約を完全満たした個体を 1000 個体生成する。

個体を労働時間平準化、上限に近い連続勤務の最小化、シフト割り当ての充足、制約逸脱度の観点から評価を行う。労働時間平準化、上限に近い連続勤務の最小化、シフト割り当ての充足はソフト制約条件であるが、制約逸脱度はセミハード制約条件である。制約逸脱度は、シフトの質を守るための要求のうちシフト実行のための最小人数の配置と実際の割り当て数によって計算される。ある日  $d$  のシフト  $a$  に割り当てられた従業員が  $e_{da}$  を下回るとき以下の式を用いて制約違反度を計算する。 $\sum_{m \in M} x_{mda} > e_{da}$  の時は制約逸脱度は 0。その他のとき、 $ConstraintsViolation = 1.5 * e_{da} (1 + e_{da}) / 1 + \sum_{m \in M} x_{mda}$

多目的最適化を扱うため Constrained NSGA-II を用いた選択を行う。CNSGA-II では通常の支配の関係以外に制約条件違反量による解支配の概念を取り入れた選択を行う。[5] 本研究でセミハード制約として、シフトの質を守るための要求のうちシフト実行のための最小人数の配置を設定しているため、これを制約違反量として扱う。

交叉についてある日  $d$  に従事する従業員の入れ替えを行う。入れ替えを行う日は 1 日に限定し、この操作を

行う際ハード制約違反が起こらないように解を修正する。発生率は 0.6 を設定する。

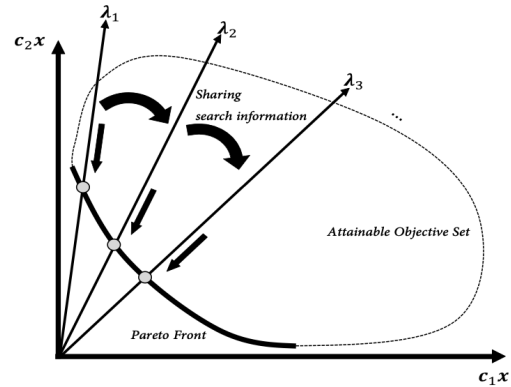
突然変異について個体を新しく作成し、突然変異の対象となる個体と入れ替え操作を行う。ここで新規で作成した個体はハード制約条件のみを満たす。発生率は 0.1 を設定する。

100 世代の世代交代を終了条件とする。

**3.3 分枝限定法の適用**

多目的最適化問題に分枝限定法を適用するアプローチは、パレート解が多くなるにつれ膨大な探索時間を必要とする。下保らは、MOEA/D で用いられる分割の概念を分枝限定法に組み合わせる方法を提案した。[6] 本研究ではこの方法を用い、3つの目的関数を持つ解空間を重さの異なる 26 本のベクトルで分割し解を求める。

図 1 分割の概念を取り入れた探索 [6]



**3.4 解法の性能比較**

解の質を表すための指標として HV を用いる。本実験では 2つの手法で得られた解集合の中から最悪の値を取り出しこれの 1.5 倍を目安に、参照点を労働時間の平準化のための関数値 200、連勤最小化のための関数値 100、シフトの割り当て要求充足のための関数値 500 の位置に設定した。

GA では分枝限定法による手法に比べ多くのパレート解を得ることができたが、そのほとんどは分枝限定法によるパレート解に支配されていた。以下に GA を適用した際の HV の推移を示す。

図 2 GA による探索の推移

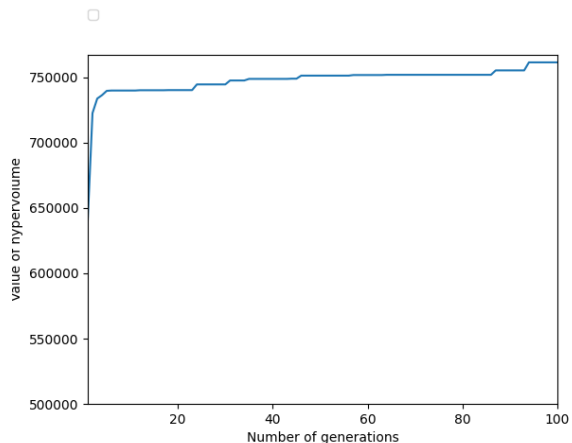


図 2 では世代が進むにつれ HV が増えている事が確認できる。しかしこの推移は継続的ではなく、突発的なイベントによって解の更新が行われている事がわかる。

分枝限定法による方法では GA に比べ多くの計算時間を要した。しかし、分割した目的関数によっては GA よりも少ない計算時間で厳密解を得ることができた。以下に目的関数の種類ごとの計算時間を示す。単目的最適化時の計算時間は以下ようになった。

表 2 単目的最適化時の計算時間

目的関数の種類	計算時間(秒)
労働時間の平準化	0.84
連勤の最小化	0.96
シフト割り当て充足	0.75

2 目的最適化の時の組み合わせについて平均の計算時間を以下に示す。

表 3 2 目的最適化時の計算時間

目的関数の種類	平均計算時間(秒)
労働時間の平準化&連勤の最小化	1.28
連勤の最小化 &シフト割り当ての充足	1.50
シフト割り当て充足&労働時間の平準化	13631.75

最後に 3 つの目的関数を同時に最適化した時の平均計算時間について以下に示す。

表 4 3 目的最適化時の計算時間

目的関数の種類	平均計算時間(秒)
3 つ全ての目的関数	17456.16

以上の結果から、目的関数の種類の増加に対応して計算時間の増加も見て取れる。とくにシフト割り当ての充足と労働時間の平準化の 2 つの目的関数を同時に最適化する時に多くの時間を要する事がわかった。

最後に最適化手法ごとの HV の値を以下に示す。

表 5 最適化手法ごとの HV の値

	計算時間(秒)	HV
GA	601	8975674
分枝限定法	277014	9845570

GA では 26 のパレート解を分枝限定法では 16 個のパレート解を得た。このうち GA で得られた 20 のパレ

ト解は分枝限定法で得られたパレート解に弱い意味で支配されており、逆に分枝限定法で得られたパレート解は GA で得られたパレート解に支配されることはなかった。

このことから分枝限定法は GA に比べより良い解を得られていることがわかる。またそれぞれの手法で得られたパレート解の個数と計算時間から、GA では分枝限定法に比べ多くの解を短い時間で得ることができる。

#### 4 まとめ

本稿ではホテル従業員スケジューリング問題に適したアルゴリズムを検討するために分枝限定法と GA を適用し、それぞれの性能を比較した。GA では分枝限定法に比べ多くの解候補を短い時間で出力することができたが、解の質の面で分枝限定法に及ばなかった。分枝限定法では多くの時間を要したが、ホテル従業員スケジューリング問題のような制約付き多目的最適化問題に対して厳密解を得ることができた。また、分枝限定法の計算時間について単目的の場合は短い時間で最適解を得られたが、2 目的や 3 目的になると目的関数の組み合わせによって計算コストが大きくなることが確認できた。

以上の結果より、ホテルにおける従業員スケジューリング問題では目的関数が 1 つである場合や連続勤務とシフト割り当ての充足のような場合には分枝限定法が適切であると考えられる。

今後の課題として、他の目的関数を設定した場合の振る舞いについて検証する必要がある。また CNSGA-II 以外の多目的最適化手法を検討する必要がある。

#### 参考文献

- 渡邊 真也, 奥寺 将至, "看護師勤務表作成問題に対する進化型多目的最適化に基づくアプローチの提案", 進化計算学会論文誌, Vol.5, No.3, (2014).
- 川中 普晴, 山本 康高, 吉川 大弘, 篠木 剛, 鶴岡 信治, "遺伝的アルゴリズムを用いた看護婦勤務表の自動生成", 電気学会論文誌 C, Vol.120, No.6, (2002).
- 大谷 慎, 長谷山 美紀, 北島 秀夫, "ナーススケジューリング問題の GA による解法に関する考察", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.625, (2002).
- 池上 敦子, "ナース・スケジューリング", 統計数理, Vol.53, No.2, (2005).
- Deb, Kalyanmoy and Pratap, Amrit and Agarwal, Sameer and Meyarivan, T., "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, (2002)
- 下保 知輝, 渡邊 真也, 榊原 一紀, "単目的問題への分割に基づく多目的分枝限定法の提案", 情報処理学会第 83 回全国大会講演論文集 (2021).