

# 代替出勤依頼における依頼順決定アルゴリズムの提案

幡本 昂平<sup>1,a)</sup> 横山 想一郎<sup>2</sup> 山下 倫央<sup>2</sup> 川村 秀憲<sup>2</sup>

**概要:** 予期しない欠勤により空いたシフトを代替の従業員で補填するため、従業員に依頼を行う代替出勤依頼という業務がある。この業務では従業員に個別に連絡する必要があるため、管理者の負担が大きかった。近年、メッセージングアプリを用いて依頼業務を自動化しようという動きがある。本稿では、メッセージングアプリを用いた依頼業務における、一か月間の代替出勤依頼の引受回数の平準化・充足率の向上を目的とした依頼アルゴリズムを提案する。依頼アルゴリズムの検証には文献 [1] を発展させたマルチエージェントシミュレーション環境を利用した。検証の結果、受諾確率について降順の依頼順の場合に最適依頼人数戦略が有効であることが確認された。

## Proposal of an Order Determination Algorithm for Substitute Attendance Requests

**Abstract:** In an alternative attendance request, managers ask employees to fill in a shift that has been vacated due to unexpected absence. It is necessary to contact the employees individually, which places a heavy burden on the the managers. Some companies try to use a messaging application to automate the task. In this paper, we propose a request algorithm for leveling the number of acceptance for one month and improving the sufficiency rate using a messaging application. We use multi-agent simulation based on our study[1] for testing the algorithm. The experiments show that optimal request number strategy is effective when requesting in descending order of acceptance rate.

### 1. はじめに

勤務シフト調整は人間の労働力を用いる様々な領域で発生する最も基本的な業務の一つである。この業務を適切に行うことは人件費の削減や安定的な業務の遂行に直結するため、経営上の影響も大きい。

勤務シフト調整は勤務シフト作成と勤務シフト修正の2つに大別される。勤務シフト作成は労働者の勤務時間希望や雇用側の業務遂行に必要な労働者数などの条件をみたくように勤務スケジュールを作成する業務を指す。最低限の条件としては以上のもので十分であるが、新人ばかりの配置にしないといった現場からの条件や、労働法などで定められる連続勤務日数の制約、労働者間の公平性など、円滑に業務を行う上で考慮すべき条件は多数存在し、勤務シフ

ト作成は時間がかかる負担の大きい業務となっている。こうした状況を受けて勤務シフト作成に関する研究はスタッフスケジューリングの分野で進められており [2], 成果を活用した勤務シフト作成支援を行うソフトウェアは多数存在する [3][4][5]。

勤務シフト修正は、前述の条件を満たすように作成されたシフトが予期せぬ労働者の欠勤（急病など）により実行不可能になった際に、実行可能なようにシフトを変更する業務のことを指す。シフト修正の方法としては再スケジューリングと代替出勤依頼の2種類が考えられる。再スケジューリングは欠員を踏まえてすべての労働者の勤務日時を再配置する方法である。予備人員がほとんどいない場合や変更したシフト表を労働者が受け入れる可能性が高い状況で用いられる。一方、代替出勤依頼は欠員が発生した時間帯の業務を、その時間帯に配置されていない労働者が代わりに遂行できないか依頼することでシフト表の修正を図る方法である。この方法の利用にはある程度の予備人員が存在することが前提となるが、既存のシフトに大きな変更を加えることなく問題を解決できるという点で優れてい

<sup>1</sup> 北海道大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, 060-0814, Japan

<sup>2</sup> 北海道大学 大学院情報科学研究科  
Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido  
University, Sapporo, Hokkaido, 060-0814, Japan

<sup>a)</sup> hatamotok@complex.ist.hokudai.ac.jp

る。非正規従業員が多数在籍しているコールセンター等の事業所では、再スケジュールリングでシフトを組み替えた際に全従業員との合意をとることが難しいためこちらの方法が用いられている。代替出勤依頼は人手で従業員に依頼の電話を行うという形で実行されており、雇用側の負担が大きい。

本稿では、1ヵ月の間継続的に欠勤が発生する状況における代替出勤依頼アルゴリズムの提案をおこなう。このような状況では欠勤が発生するごとに代替出勤依頼をおこなう必要がある。ある1日の欠勤のみ扱う場合は欠勤人数に対する確保人数の過不足を減らして充足率を上げることがのみが目標となるが、代替出勤依頼を複数回おこなわなければいけない場合、従業員のモチベーションを保ちながら円滑な業務遂行を行う上で、従業員1人あたりの依頼引受回数や被依頼回数を減らすことが必要となる。これらの指標は互いにトレードオフ関係にあると考えられるため、ある指標を改善することによる他指標への影響を考慮した依頼アルゴリズム開発を行う必要がある。本稿における提案手法ではとくに過不足発生率と被依頼回数の削減・引受回数の平準化に着目する。

本稿の構成を述べる。2章では勤務シフト調整に関する研究分野であるスタッフスケジュールリングや再スケジュールリングについてのレビューをおこなう。3章では一ヶ月間の代替出勤依頼のモデルの説明をおこなう。4章では提案依頼順決定アルゴリズムの解説をおこなう。5章では4章で提案した依頼順決定アルゴリズムについて、シミュレーション実験をおこない、結果を考察する。6章では本稿のまとめをおこなう。

## 2. 関連研究

### 2.1 スタッフスケジュールリング

勤務シフト調整はスタッフスケジュールリングとして古くから数多く行われている [2]。スタッフスケジュールリングとは所与の条件のもとで、コスト面や実行可能性の面で日時や業務内容についての最適な人員の配置を求める問題であり、オペレーションズリサーチの分野で取り組まれてきた。対象の領域としては交通機関の乗務員のスケジュールリング、コールセンターや小売店の従業員配置など多岐にわたる [6]、産業における応用に近い研究課題であるといえる。とくに病棟の看護師の勤務シフト作成を取り扱うナーススケジュールリングはその重要性から一分野を形成しており、多数の研究がみられる [7]。

一般的に、スタッフスケジュールリングは整数計画問題として定式化される。小規模な問題であれば、汎用ソルバー (CPLEX [8], Gurobi [9] など) によって現実的な時間で解くことが可能である。ナーススケジュールリング等の制約条件が多く複雑な場合に対しては、メタヒューリスティクスにより現実的な時間内での求解を目標に多数の研究がな

れてきた [10][11]。ナーススケジュールリングなどの正社員を中心としたものと異なり、非正規労働者に対してはその出勤希望をふまえたシフトを作成する必要がある。これについては数理的な定式化をおこなったもの [12] や、GA を用いたもの [13] などの研究がある。

### 2.2 再スケジュールリング

本研究と関わりの深いスタッフスケジュールリングの延長線上の研究分野として、再スケジュールリングがある。再スケジュールリング問題の初期の研究としては、文献 [14] があり、比較的新しい研究分野である。再スケジュールリングの研究はスタッフスケジュールリングに比べると数は少ないものの、近年ではナーススケジュールリング分野を中心に取組まれるようになってきている [15][16]。国内研究としては文献 [17] が挙げられる。しかし、これらの研究は修正したシフトを従業員が受諾することを想定しており、今回扱うような従業員の受諾に不確実がある場合には適用できない。

## 3. 一ヶ月間の代替出勤依頼モデル

複数回の代替出勤依頼のモデルを図 1 に示す。1章で述べたように、現実における代替出勤依頼では急病等の突発的な欠勤が発生するため、ある1日のシフトに対する欠勤が当日になるまで確定しない。これを本研究では前日までに判明する欠勤と当日に判明する欠勤の2つに分けて考える。前日までに判明する欠勤に対しては、余裕をもった代替出勤依頼が行えるためモデル上の配信回数を多くし、当日に判明する欠勤に関しては、できるだけ早く代替従業員を集めなければいけない都合上、モデル上でも配信回数を少なくする。ある一日については、このように分けた前日までに判明する欠勤と当日の欠勤に対して順に代替出勤依頼をおこなって元シフトの復元を試みる。次の日以降も同様の手続きで代替出勤依頼をおこない、最終的に修正されたシフトと元シフトを比較し、過不足の発生率やその人数を評価する。

本稿では文献 [1] で用いた代替出勤依頼に関するマルチエージェントシミュレーションモデルを複数回の代替出勤依頼に拡張したものを利用する。以下では、シミュレーションモデルの説明をおこない、今回取り扱う依頼結果に関する評価指標の整理をおこなう。

### 3.1 シミュレーションモデル

本稿で用いるシミュレーションモデルは管理エージェントと従業員エージェントの2つのエージェントで構成されるマルチエージェントモデルで、シフト作成にかかわる部分と代替出勤依頼にかかわる部分の大きく2つから構成される。

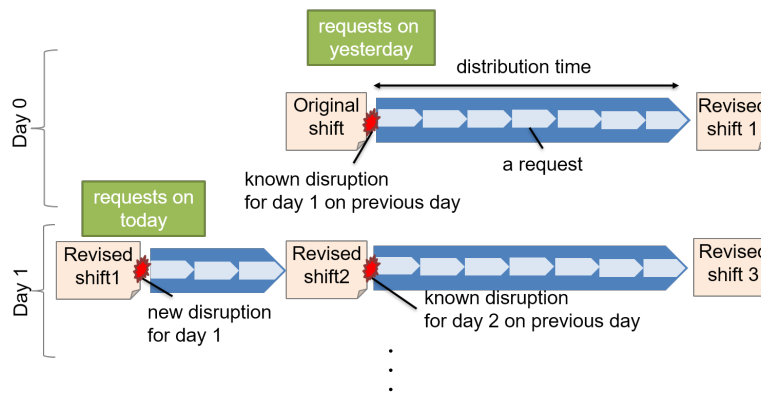


図 1 複数回の代替出勤依頼のモデル

Fig. 1 Model for multiple substitute attendance requests

### 3.1.1 シフト作成

シフト作成に関わる部分は文献 [1] のものを改変せず用いる。時間帯は M (Morning), A (Afternoon), E (Evening), N (Night) の 4 つからなる。勤務時間希望に関しては、従業員がどの時間帯に出勤しやすいかを表す出勤時間帯パターンを 7 種類設定し、このパターン内でどの曜日に出勤しやすいかを表す 5 つの出勤曜日のパターンにわけることによって、曜日や時間帯について傾向づけをおこなう。シフト作成については整数計画問題として定式化し、汎用ソルバを用いて求解する。

### 3.1.2 代替出勤依頼

代替出勤依頼に関しては、複数回依頼に対応するため文献 [1] から変更している。

1 ヶ月の依頼においては、シフトに応じた継続的な欠勤発生状況を扱う必要があるため、欠勤を従業員エージェントの行動の一つとしてモデル化する。ある日についての欠勤は、シフト配置されている従業員が確率的にシフト配置をなくすことで表現する。欠勤により元のシフトよりも配置人数が少なくなった時間帯について代替出勤依頼を行うことで、元のシフトと同じ数の従業員エージェントの配置を試みる。この際、必要人数は欠勤の発生により配置従業員エージェント数が不足した一連の時間帯について定める。たとえば、時間帯 MAE で勤務予定であった従業員エージェントが 2 人、時間帯 EN で勤務予定であった従業員エージェントが 3 人欠勤した際には、必要人数は時間帯 MAE に 2 人、時間帯 EN に 3 人のように扱う。

従業員の依頼回答については、受諾確率の値とその構成比率が依頼結果に与える影響をわかりやすくするため、一様ではなく 3 段階の受諾レベルを各従業員エージェントに設定する。受諾レベルを確率の実数値と辞書的に対応させることで、従業員の受諾確率の高低を表現する。表 1 に受諾レベルと受諾確率の対応の例を示す。受諾レベルが高いほど、対応する受諾確率の値が高くなるように設定する。本論文では、従業員の受諾しやすさの度合いを高・中・低

表 1 受諾レベルと受諾確率の対応の例

Table 1 Examples of acceptance levels and acceptance probabilities

Acceptance level	Acceptance probability
1	0.1
2	0.15
3	0.5

の 3 段階で表現するため、受諾レベルとしては 3・2・1 の 3 段階を用いる。従業員エージェントに対しては、時間帯や曜日にかかわらない値としてベース受諾レベルを設定する。

依頼の受諾確率が曜日や時間帯ごとに異なるという特徴の表現は、出勤希望の状況をもとに受諾レベルをベース受諾レベルから変動させることで対応する。時間帯については、出勤希望を出す確率が最大の時間帯の場合、受諾レベルをベース受諾レベルから 1 段階上げる。曜日については、モデル上の出勤希望数の最大値に対する対象曜日のモデル上の出勤希望数の比率が 50% の以下のときに受諾レベルをベース受諾レベルから 1 段階下げることで対応する。ベース受諾レベルが 1 のときはそれ以下にはならず、レベルが 3 のときはそれ以上にはならないものとする。

本稿のモデルでは、返答確認の際に依頼を行った全員から返答が来るまで十分な時間が経過していると仮定し、応答時間の考慮をおこなわない。文献 [1] における現実のコールセンターにおけるデータの検証結果であるほとんどの返答は 1 分以内の短い期間にくるという事実から大きく外れておらず、依頼間隔を 1 時間程度とすれば大半の返答は得られるため、現実的にも無理のない仮定であるといえる。

本モデルにおける代替出勤依頼では、複数の時間帯についての欠勤が発生した場合にある従業員に対して任意の数の時間帯に関する依頼を 1 配信回で同時にすることが可能であるような形式をとる。たとえば時間帯 MAE・EN についての欠勤が発生し、いずれも必要人数に達していない場合、1 配信回ではどちらの時間帯についての代替出勤依

頼もおこなうことができる。いずれかの時間帯のみ受諾またはどちらも非受諾である場合には問題はないが、依頼を行った両方の時間帯について受諾の返答が来た場合はどちらの受諾を優先するか決定する必要がある。今回のモデルでは、従業員が複数の時間帯に対して受諾の返答をした際はシフト作成における出勤希望率が最大となる時間帯について受諾であると解釈する。これは複数の時間帯について同時に代替出勤依頼がおこなわれたときに、従業員はいずれか一つだけの時間帯について受諾するという状況に対応している。依頼が行われても依頼受諾をしなかった場合は、まだ依頼が行われていない時間帯については依頼が可能である。したがって従業員一人あたりの1日の最大被依頼回数は欠勤時間帯の種類数と等しくなる。以下の評価実験等では、被依頼回数は複数の時間帯についてまとめて依頼した場合も時間帯ごとにカウントする。つまり、 $MAE \cdot EN$ について同時に依頼が行われる上記のケースでは、この依頼が終わった時点での被依頼回数は2となる。

### 3.2 代替出勤依頼アルゴリズムの評価指標

依頼結果に関する指標は、管理側のもとの従業員側のものの2つに分類できる。管理側のものとしては、修正シフトの過不足がある。ある日時に関して修正シフトの配置人数が元シフトよりも多ければ過剰、少なければ不足である。ある1日については複数の時間帯について欠勤が発生することが一般的なので、過剰と不足がどちらも発生する可能性がある。過不足に関してはある日の過不足の発生率とその人数分布の2つに細分化できるが、今回のシミュレーション設定では過不足人数は最大でも10人程度とそれほど多くならないため、手法の評価は発生率を用いておこなう。

従業員側のものとしては、被依頼回数と依頼引受回数の2つがある。被依頼回数は従業員が代替出勤依頼を受けた回数のことである。この指標は受諾・非受諾にかかわらず依頼が行われた場合にカウントされる。前述の通り同時に複数の時間帯に対して依頼された場合も、その時間帯数分のカウントをおこなう。被依頼回数が多すぎる場合、毎日のように代替出勤依頼が行われることになり、依頼に対する受諾確率や従業員の勤務に対する心象を悪化させる恐れがある。依頼引受回数は、依頼が行われた結果が受諾である場合にカウントされる指標である。この指標の値は偏りが大きい場合に問題となる。実際、ある特定の受諾確率が高い従業員が依頼を引き受けることが多いのは現実的ではあるとはいえない。したがって、今回の実験においては従業員の1ヵ月間の最大依頼引受回数を6回に制限する。手法の検証では、1ヵ月間に依頼を受けた回数と全従業員の依頼引受回数が4回以上である従業員の割合で評価をおこなう。

## 4. 代替出勤依頼アルゴリズム

本研究では、依頼順と依頼人数に着目した代替出勤依頼アルゴリズムを提案する。依頼順を工夫することで引受回数・被依頼回数の改善が、依頼人数を工夫することで過不足の発生割合の低減が期待される。以下ではそれぞれについて提案アルゴリズムを説明する。

### 4.1 依頼順決定アルゴリズム

提案手法では受諾確率に応じた従業員の順序付けをおこなうことで、引受回数や被依頼回数を小さくすることを試みる。前述の従業員のモデルでは、従業員の受諾確率は時間帯や曜日によって異なる。したがって、ある欠勤に対して依頼順は人員の不足が発生した時間帯ごとに定義される。本研究では、この依頼順の決定方法として受諾確率の値による昇順、降順、ランダム、の3つを比較する。

昇順の場合は、各時間帯について受諾確率が低い順に従業員を並べ、先頭から順に依頼する。これによって、1人あたりの被依頼回数は増加するが、受諾確率が低い従業員への引受が増加し引受回数の平準化が達成できると考えられる。逆に、降順の場合は各時間帯について受諾確率が高い順に依頼を実施する。この場合は受諾確率が高い従業員に引受が集中するが、被依頼回数については最小化できると考えられる。また、日毎に確率 $\epsilon$ で昇順、 $1-\epsilon$ で降順の依頼順を採用するハイブリッド手法についてもトレードオフの関係をみるため評価実験をおこなう。ランダム依頼順は事前知識が必要ないことが他の手法に比べ優れているという特徴がある。

### 4.2 依頼人数決定戦略

依頼のための時間が無限に存在する状況であれば、必要人数以下に対しての依頼を行い続けて少なくとも過剰確保は発生しないようにすることは可能である。しかし、今回の現実環境に基づいた設定では配信回数に制限があるため、受諾確率が低い従業員集合に対してそのような依頼をおこなうと大幅な不足が発生する。したがって、残り必要人数に応じた依頼人数の決定が現実への適用にあたっては重要である。以下では、前項のいずれかの順序で従業員が並べられている際の依頼人数決定の方法について説明する。

1つ目の方法は、受諾人数の期待値を用いて依頼人数を決定する期待受諾人数戦略である。確率が異なるベルヌーイ試行を依頼人数分繰り返すことになるため、期待受諾人数は依頼対象となる従業員の受諾確率の総和として計算される。このとき、必要人数 $R$ を基準として設定した値よりも期待受諾人数が大きくなる最小の依頼人数 $O^*$ に依頼する。 $i$ 番目の従業員の受諾確率を $q_i$ とすると、この条件は式で表すと以下ようになる。

$$\text{minimize } o \quad (1)$$

subject to

$$\alpha R \leq \sum_{i=1}^o q_i \quad (2)$$

$o$  は依頼人数を表す変数である。式 (2) における  $\alpha$  の値は、必要人数の何割の値に期待受諾人数が達するようにするかを制御するパラメータである。 $\alpha$  の値が大きいほど必要人数よりも多く、小さいほど必要人数よりも少なく依頼する。

2つ目の方法としては、残り配信回数が与えられたときに確率モデルで計算される最適依頼人数を利用して各回の依頼人数を決定する最適依頼人数戦略がある。代替出勤依頼モデルでは従業員の受諾確率が一律でないことや、次配信回の受諾確率が前配信回で依頼した対象に依存するなど、計算を困難にする部分が多いため、現実の状況を緩和した仮定をおいた上でモデル化を行う。仮定としては、(1) 依頼対象が無限に存在する、(2) 初回配信を除いて受諾確率は一律、の2つをおく。残り配信回数を  $L$ 、必要人数を  $R$ 、初回依頼対象の受諾人数  $j$  に関する確率質量関数を  $P_0(X=j)$  としたとき、最適依頼人数  $O^*$  は期待コスト  $f(P_0, R, L, o)$  を最小化する依頼人数  $o$  として与えられる。 $f$  は以下の式で表される。

$$f(P_i, r, l, o) = \begin{cases} eval(r) & (l=0) \\ \sum_{j=0}^{r-1} P_i(X=j) \min_{o'} \{f(P_{i+1}, r-j, l-1, o')\} \\ + \sum_{j=r}^o P_i(X=j) eval(r-j) & (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $r$  は残り必要人数、 $l$  は残り配信回数を表す変数である。 $P_i$  は  $i$  回目の配信に関する受諾人数に関する確率質量関数を表す。式の内容の説明をおこなう。まず、一様性を仮定していない初回配信の受諾人数分布の確率質量関数  $P_0$  を計算する。計算した確率質量関数に関して、必要人数  $r$  以上の部分に関してはその発生確率と結果の評価値をかけ合わせたものを総コストに加算する。必要人数よりも少ない部分に関しては、更新された残り配信回数が0でない場合、次回配信について残り必要人数・配信回数に対する最適配信人数を計算し、そのコストと発生確率をかけたものを総評価値に加算する。この際、利用する受諾人数に関する確率質量関数は従業員の受諾確率が一律であると仮定しているため、二項分布を用いて計算できる。このようにして求められた評価値の総和がある配信人数  $o$  に対するコストとなる。今回、コストは配信人数  $o$  に対して下に凸になると考えられるため、 $o$  を0から増やしていきコストが悪化する直前の段階が最適配信人数  $O^*$  となる。

本研究では評価関数として過剰と不足の発生に対して定数のペナルティーを与えるものを利用する。不足人数を  $c$

表 2 シフト作成にかかわる共通パラメータ

Table 2 Common parameters related to shift creation

Parameter	Value
Term	4 weeks(28 days)
Number of projects	1
Number of workers	215
Numer of level 1 workers	185
Numer of level 2 workers	20
Numer of level 3 workers	10
Probability of absence the day before	0.05
Probability of absence on the day	0.05

とすると評価式は以下のようなになる。

$$eval(c) = \begin{cases} -\beta c & (c < 0) \\ 0 & (c = 0) \\ (1 - \beta)c & (c > 0) \end{cases} \quad (4)$$

$\beta$  は  $[0,1]$  の実数値で、どれだけ過剰確保を重視するかを定めるパラメータである。 $\beta$  の値が大きいほど過剰確保に大きなペナルティを与える。

## 5. 実験

本章では、前章で説明した各アルゴリズムで代替出勤依頼をシミュレータ上で動作させて評価を実施する。以下では、シミュレータのパラメータに関する予備実験をおこなう、そこで決定したパラメータにおける代替出勤依頼の結果について考察する。

### 5.1 予備実験

代替出勤依頼アルゴリズムを適用するにあたり、シフトと受諾確率によって決定される代替出勤依頼環境が何も考えずに依頼しても目標となる低過不足率を達成できないが、工夫すれば改善できる範囲にある必要がある。こうした技術が必要とされている現場では人手である程度代替出勤依頼を成功できていることをふまえると、この条件は適切であると言える。したがって、全員に依頼することができるときに、不足率が大きくならないパラメータを採用する。各設定に共通のパラメータを表 2、表 3 に、予備実験で探索するパラメータを表 4 に示す。

複数回の代替出勤依頼のシミュレーションにおいては、簡単のため案件数を1としている。従業員数については、予備人員が生じすぎないような設定とした。欠勤は前日までに欠勤をするか、当日に欠勤をするかをそれぞれ表 2 中の確率で決定する。今回はいずれも 0.05 の等確率で設定している。予備実験では、従業員の受諾レベルごとの受諾確率を変化させ、代替出勤依頼を適用すべき状況を決定する。

ランダム依頼順で依頼したときの表 4 の各パラメータセットに対する不足発生率は図 2 のようになった。シミュレーションは5種類のシフトに対してそれぞれ28日間の

表 3 各従業員エージェントタイプの構成  
 Table 3 Number of each employee agent type

Type	Number of workers
MAE	20
AEN	80
MA	5
EN	20
Only A	10
Only N	60
Other	20

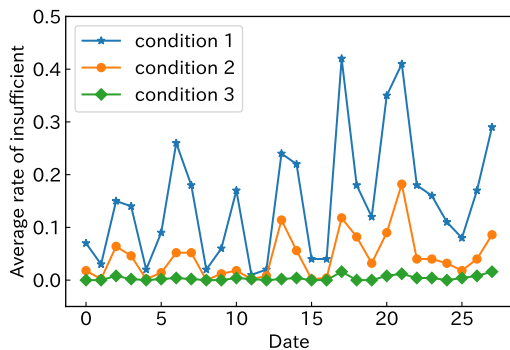


図 2 受諾確率の条件ごとの日別不足発生率

Fig. 2 Daily insufficiency occurrence rate for each condition of acceptance probability

試行を 500 回おこない、不足発生率は 500 回行ったときのある日に不足が発生する割合となっている。5 種類のシフトに関してはほぼ同様の結果となったため、1 種類のシフトについての結果を示している。図 2 より、Condition 2 が不足発生率が高すぎず、すべての日で必ず集められるということもなく現実に近いといえる。この結果から、以降の実験では Condition 2 を採用する。

## 5.2 シミュレーション実験

代替出勤依頼アルゴリズムの評価をおこなうための実験の設定について説明する。依頼順決定の検証の際には、依頼順以外の影響を排除するため配信回数に関する制約を設けずに代替出勤依頼シミュレーションを実施する。依頼人数については欠勤発生による各時間帯の必要人数と等しくなるように設定するため、過剰確保は発生しない。依頼人数決定の検証時には、各依頼順決定手法との組み合わせで結果を評価し、有効性を確認する。その際、前日までに発生した欠勤に対する配信回数は 7 回、当日に判明した欠勤に対する配信回数は 3 回とする。以降の結果はあるシフトに対して 28 日間の試行を 500 回行った際の平均値などを用いる。5 種類のシフトを用いた結果、どのシフトに対しても傾向は同様であった。

### 5.2.1 依頼順決定アルゴリズムの適用実験

依頼順決定に関しての不足発生率の時系列的な傾向を図 3 に示す。受諾確率に関して降順の依頼順では、月の後

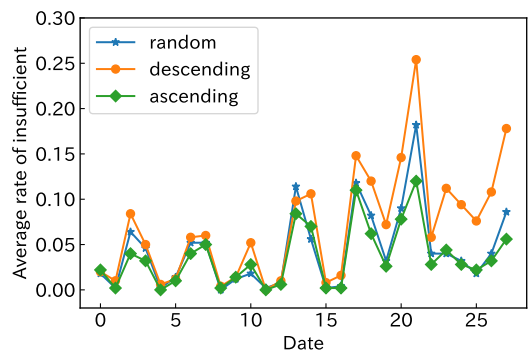


図 3 各依頼順アルゴリズムに対する日別不足発生率

Fig. 3 Daily insufficiency occurrence rate for each request order algorithm

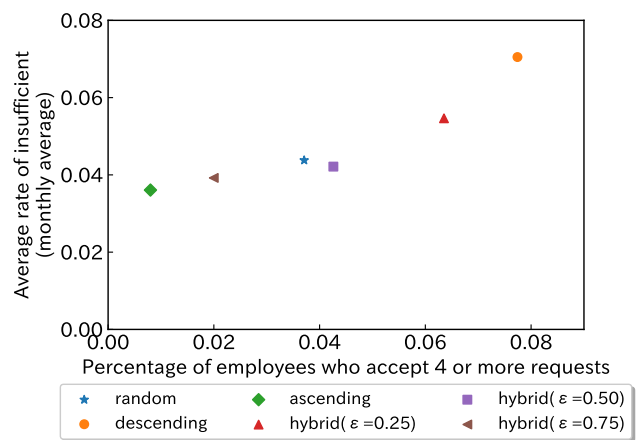


図 4 不足発生率と依頼引受回数の偏りの関係

Fig. 4 Relationship between the insufficiency rate and the bias in the number of requests accepted by employees

半の不足発生率の悪化度合いが他の手法よりも大きいことが分かる。これは降順の依頼順を適用した場合、受諾確率が高い従業員を月の前半で割り当ててしまい、月末には一人あたりの引受回数の制約で依頼できなくなることによるものである。昇順やランダム順では受諾確率が低い従業員に対する依頼を積極的に行うことになり月後半に受諾確率が高い従業員を温存できるため、月末に悪化する傾向が小さくなる。

次に、各評価指標に与える影響をみる。不足発生率と引受回数の標準偏差の関係を図 4 に示す。ここでは不足率は 1 ヶ月間の平均値を用いている。昇順に近い依頼順決定方法ほど引受回数のばらつきが小さく、不足発生率も少なくなることが分かる。これは昇順に近いほど前述の受諾確率が低い従業員にも依頼の引受が発生し、特定の人ばかりが依頼を受けることが減っているからであると考えられる。この結果だけで判断すると、受諾確率に関して昇順で依頼するほうがよいように見える。一方、不足発生率と一ヶ月間の被依頼回数の平均値の関係は図 5 になっている。昇順の依頼順では、一人あたりの平均被依頼回数が他



表 4 予備実験で探索する受諾確率

Table 4 Acceptance probability searched in preliminary experiments

Condition	Acceptance probability of level 1	Acceptance probability of level 2	Acceptance probability of level 3
Condition 1	0.01	0.05	0.5
Condition 2	0.01	0.1	0.5
Condition 3	0.05	0.1	0.5

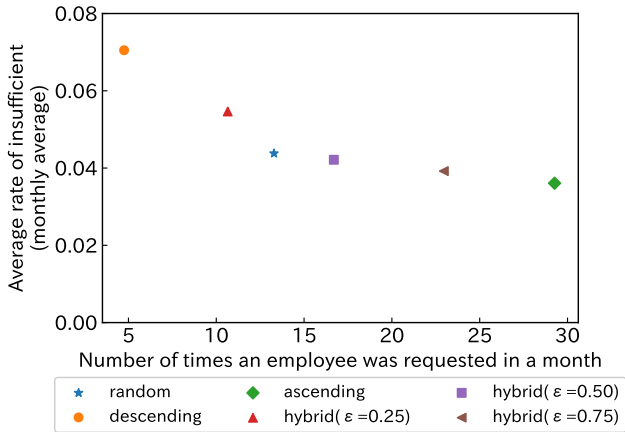


図 5 不足発生率と一ヶ月間の被依頼回数の平均値の関係

Fig. 5 Relationship between the insufficiency occurrence rate and the average number of requests per month

手法とくらべ大きく、現実で適用した際にはシフト配置されていない日に必ず依頼が来るということになり、従業員の不満を考えると必ずしも良い方法であるとはいえない。一方、降順の依頼順では不足発生率は多少悪化するものの、被依頼回数は少なく抑えられている。また、ランダムな依頼順を採用した際には、昇順・降順ベースの手法よりもパレート改善する傾向がみられた。これは、ある一日の依頼の中で動的に依頼順を変えることで被依頼回数の削減と不足率の低下を効率的におこなうことができる方法があることを示唆している。

### 5.2.2 依頼人数決定戦略の適用実験

降順の依頼順に対して各依頼人数決定戦略を導入した場合の過剰率・不足率の関係を図 6 に示す。ここで noexcess は依頼人数を常に必要人数と等しくする依頼人数決定戦略を表しており、この場合は過剰が発生しない。確率モデルによる最適依頼人数戦略を適用した場合、単純な戦略である期待受諾人数戦略よりもパレート改善していることがわかる。降順の依頼順に対しては最適依頼戦略が過不足率の改善という観点からは有効であるといえる。また、パラメータ  $\alpha$  や  $\beta$  を変化させることで不足と過剰のどちらを重く見るかを制御できていることもわかる。一方、昇順の依頼順に対する適用結果は図 7 のようになった。降順の場合と異なり、最適依頼人数戦略を導入した際の効果は小さい。これは、最適依頼人数戦略の仮定である、「ある配信回以後の従業員の受諾確率は一樣である」という仮定を満

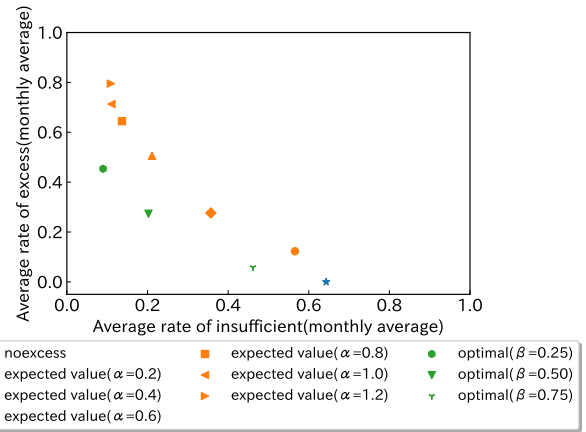


図 6 降順依頼順に対する不足発生率と過剰発生率の関係

Fig. 6 Relationship between the insufficiency occurrence rate and the excess security occurrence rate for the descending order

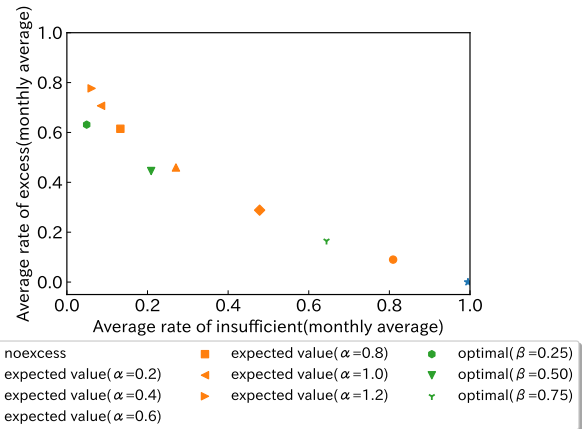


図 7 昇順依頼順に対する不足発生率と過剰発生率の関係

Fig. 7 Relationship between the insufficiency occurrence rate and the excess security occurrence rate for the ascending order

たさなくなっていることによるものであると考えられる。また、ランダムな依頼順に対する適用結果は図 8 のようになった。昇順依頼順に対する適用結果と同様に、大きな改善はない。これも確率モデルの仮定を満たしていないことによるものであると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、1 ヶ月間の代替出勤依頼において適用可能

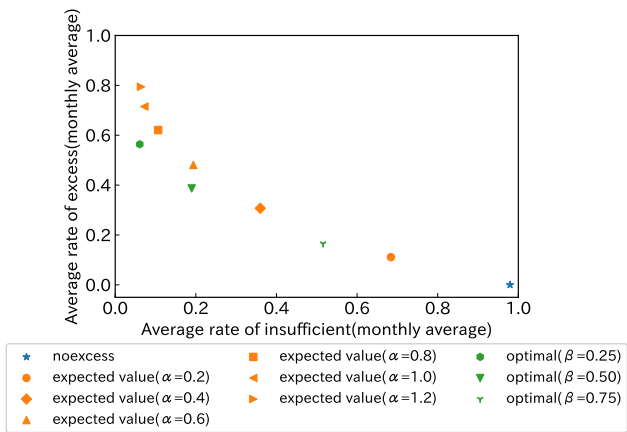


図 8 ランダム依頼順に対する不足発生率と過剰発生率の関係  
**Fig. 8** Relationship between the insufficiency occurrence rate and the excess security occurrence rate for the random order

な依頼順決定方法と依頼人数決定方法を提案した。依頼順決定アルゴリズムに関しては代替出勤依頼結果に与える影響を解析し、昇順や降順などの単純な依頼順についてどのような特徴があるか確認した。依頼人数決定戦略に関しては、とくに降順依頼順の場合に単純な期待受諾人数戦略よりも依頼結果に対して設定したコストを最小化するような依頼人数に決定する最適依頼人数戦略のほうが過不足発生率に関してパレート改善する傾向を確認した。

今後の課題としては、より現実の要素を含んだモデル化があげられる。たとえば今回のモデルでは前日以前に判明する欠勤はすべて前日に扱うようにしているが、実際には欠勤が判明した後はいつでも依頼してもよく、依頼日に関する考慮も必要である。現実の状況をより捉えたモデル化をおこなうことで、より現実に即した依頼手法の開発を可能にしていくことが重要である。

謝辞 本研究は株式会社 TMJ の皆様に情報の御提供、ならびに種々の御助言を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

[1] 幡本昂平, 横山想一郎, 山下倫央, 川村秀憲: 代替従業員確保のためのメッセージングアプリを利用した効率的な依頼手法の開発, *情報処理学会論文誌*, Vol. 60, No. 10, pp. 1757–1768 (2019).

[2] Van den Bergh, J., Belin, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E. and De Boeck, L.: Personnel scheduling: A literature review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, No. 3, pp. 367–385 (online), DOI: 10.1016/j.ejor.2012.11.029 (2013).

[3] AIによるシフト表自動作成 | セコムかんたんシフトスケジュール [セコム], (オンライン), 入手先 (<https://www.secocomtrust.net/service/hrtech/shift.html>) (参照 2020-01-12).

[4] 勤務シフト作成お助けマン | シフト表の作成支援ソフト | JR システム, (オンライン), 入手先 (<https://www.otasukeman.jp/>) (参照 2020-01-12).

[5] KKE/ShiftMaster 機能 | -株式会社 構造計画研究所 -オペレーションズ・リサーチ部, (オンライン), 入手先 ([http://www4.kke.co.jp/orsim/ShiftMaster\\_top.html](http://www4.kke.co.jp/orsim/ShiftMaster_top.html)) (参照 2020-01-12).

[6] Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. and Sier, D.: Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 3–27 (online), DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00095-X (2004).

[7] Burke, E. K., De Causmaecker, P., Berghe, G. V. and Van Landeghem, H.: The State of the Art of Nurse Rostering, *Journal of Scheduling*, Vol. 7, No. 6, pp. 441–499 (online), DOI: 10.1023/B:JOSH.0000046076.75950.0b (2004).

[8] IBM: ILOG CPLEX Optimization Studio - Overview — IBM, (online), available from (<https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>) (accessed 2020-01-16).

[9] Gurobi Optimization, L.: Gurobi Optimizer Reference Manual, (online), available from (<http://www.gurobi.com>) (accessed 2020-01-16).

[10] Dowsland, K. A.: Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation, *European Journal of Operational Research*, Vol. 106, No. 2, pp. 393 – 407 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00281-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00281-6) (1998).

[11] Aickelin, U. and Dowsland, K. A.: An Indirect Genetic Algorithm for a Nurse-Scheduling Problem, *Computers & Operations Research*, Vol. 31, No. 5, pp. 761–778 (online), DOI: 10.1016/S0305-0548(03)00034-0 (2004).

[12] 徳永拓真, 田中勇真, 小林隆文, 杓水佑樹, 池上敦子: 非正社員を主力とするスタッフスケジューリングにおけるモデル化と支援システムの構築, *情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 (TOM)*, Vol. 8, No. 2, pp. 57–65 (2015).

[13] Xue, N., Landa-Silva, D., Triguero, I. and Figueredo, G. P.: A Genetic Algorithm With Composite Chromosome for Shift Assignment of Part-time Employees, *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 1–8 (2018).

[14] Moz, M. and Pato, M. V.: An Integer Multi-commodity Flow Model Applied to the Rerostering of Nurse Schedules, *Annals of Operations Research*, Vol. 119, No. 1, pp. 285–301 (online), DOI: 10.1023/A:1022907212477 (2003).

[15] Wickert, T. I., Smet, P. and Berghe, G. V.: The nurse rostering problem: Strategies for reconstructing disrupted schedules, *Computers & Operations Research*, Vol. 104, pp. 319 – 337 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.12.014> (2019).

[16] Bumelt, Z., Dvok, J., cha, P. and Hanzlek, Z.: A novel approach for nurse rerostering based on a parallel algorithm, *European Journal of Operational Research*, Vol. 251, No. 2, pp. 624 – 639 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.11.022> (2016).

[17] 北田 学, 森澤和子: 急な欠勤発生に伴う動的ナース・スケジューリング問題のヒューリスティック解法, *日本経営工学会論文誌*, Vol. 65, No. 1, pp. 29–38 (2014).