

効率的な代替出勤依頼に向けた依頼順評価関数の設計

Design of Request Order Evaluation Function for Efficient Request for Substitute Workers

幡本昂平^{1*} 横山想一郎¹ 山下倫央¹ 川村秀憲¹

Kohei Hatamoto¹, Soichiro Yokoyama¹, Tomohisa Yamashita¹, and Hidenori Kawamura¹

¹ 北海道大学大学院情報科学研究科

¹ Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

Abstract: Shift scheduling has been studied in various fields for many years, but little consideration has been given to absence which occurs after determining shift. Recent years, research on shift rostering has been carried out, but most of them tries to correct shift with minimum cost. While alternative attendants selection requires an enormous amount of labor, this operation hasn't been taken into account. In this research, we make a simulation model based on real-life data, then investigate alternative attendants selection methods using chatbot.

1 序論

長年、シフトのスケジューリングは様々な分野で研究されてきた。代表的なものにナーススケジューリングがあるが、シフト調整は人を雇用する現場では必ず発生する問題であり常に関心をもたれる課題である。近年では自分の都合の良い時間に働きたいという非正規の労働者も増加しており [1], シフト管理業務の負担低減に関する注目はますます高まっている。

シフト管理業務のうち欠勤者発生時のシフト調整は特に負担が大きいものの1つである。これはあらかじめシフトで予定されていた出勤日に、従業員が急な用事の発生により出勤できなくなってしまうときに発生する業務である。スケジューリングの観点から欠勤者発生時のシフト調整の問題は取り組まれてきた。シフトを制約を満たすように修正することは欠勤者発生時のシフト調整業務を自動化するものとして有効であるが、シフトを更新した後はそのことを従業員に通知し了承を得る必要がある場合がある。非正規労働者の場合は従業員が自分の都合を優先しがちなため顕著であり、この際断られると再度シフトを修正する必要があるが生じてしまう。

本研究ではこの代替出勤依頼業務をスタッフスケジューリング・再スケジューリングと並ぶシフト管理業務における重要な問題と位置づけ、その解決に取り組んだ。代替出勤依頼業務は欠勤が発生したとき空いたシフトの時間帯に欠勤した従業員の代理として他の従業員に出勤してくれるよう依頼する業務である。出勤依

頼を受けてくれやすい従業員を発見し最低限の回数の依頼を行うことが重要になる。この業務は従業員を統括する管理職によって遂行されることがほとんどであり、管理職がその能力を活かした業務に充てることのできる時間を奪ってしまっている。実際、管理職へのインタビューによるとシフトを埋めることができるかどうかという精神的な負担と、実際に依頼するために電話・声掛けをすることに時間をとられるという時間的な負担を感じるという意見があることが分かった。とくに時間的な負担が大きなものになっており、この依頼業務に1日の業務時間すべてを消費してしまうことも少なくない。

従来、代替出勤依頼は電話で従業員に直接連絡することで行われてきた。電話による従業員への依頼はその場で答えを聞くことができることや労働者への普及率がほぼ100%であることからどんな人に対しても連絡可能であるという利点がある。このような利点があるため電話による依頼が完全に排除されることはないと思われるが、電話には架電者と受電者が同じタイミングで通話しなければならないという時間的制約がある。

電話による代替出勤依頼を補助する目的でチャットボットによる代替出勤依頼を行おうとする動きがある。チャットボットを用いることで架電者と受電者どちらとも時間的制約を取り除く事ができる。しかし、チャットボットの業務への適用事例は利用者からのメッセージに応じた返信に対して用いたものが多く能動的に連絡を行う際のタイミングなどに関する知見はあまり得られていない。そこで、本研究ではチャットボットを用いた代替出勤依頼における効率的な依頼方法について検討する。

*連絡先: 北海道大学大学院情報科学研究科
〒060-0814 札幌市北区北14条西9丁目
E-mail: hatamotok@complex.ist.hokudai.ac.jp

本稿はまず、第2章でこれまで行われてきたシフト調整(スタッフスケジューリング・再スケジューリング)に関する研究について概観し、第3章では依頼手法の検討環境となるシミュレーションモデルについて説明する。第4章では代替出勤依頼を行うための依頼方法について説明する。第5章では第4章で説明した依頼方法のシミュレーションを用いた実験結果について説明する。第6章では得られた結果のまとめを行い、今後の展望について述べる。

2 関連研究

2.1 スタッフスケジューリング

スタッフスケジューリングに関する研究は数十年に渡って広く行われてきた。[2] この中でも病院における看護師のシフトを決定する問題であるナーススケジューリングは代表的なものである。ナーススケジューリングでは看護師の勤務希望や病棟における看護師の必要人数などの多くの条件を満たすような勤務シフトを作成する必要がある。ナーススケジューリングに関しては多くの研究が行われている。[3][4]

一般に、スタッフスケジューリングは組み合わせ最適化問題として定式化される。スケジューリング問題はNP-hardであるので、最適化問題の解法に関する研究が行われてきた。[5][6][7] 近年のコンピュータ性能の発展により規模が大きい問題に対して厳密解を求めることが可能になってきている。しかし本研究で扱っているような非正規労働者へのシフト割当の問題は依然として計算量的に難しく、遺伝的アルゴリズムを用いて割当を行う研究も行われている。[8]

2.2 再スケジューリング問題

スタッフスケジューリングにはシフト決定後の欠勤等による変更を扱うものがあるが、この問題は近年注目を集めている。急病や家庭の事情による従業員の突然の欠勤はよく起きることであるが、再スケジューリングについての研究が行われるようになったのは近年になってからのことである。[9] しかしこれまでこの分野における研究は欠勤が発生した際に最小コストで勤務シフトを修正することを目的としており、このような場合に必要となる欠勤した従業員の代替を補充するための依頼業務は考慮されてこなかった。そこで本研究では欠勤者発生時の代替出勤依頼について取り扱った。

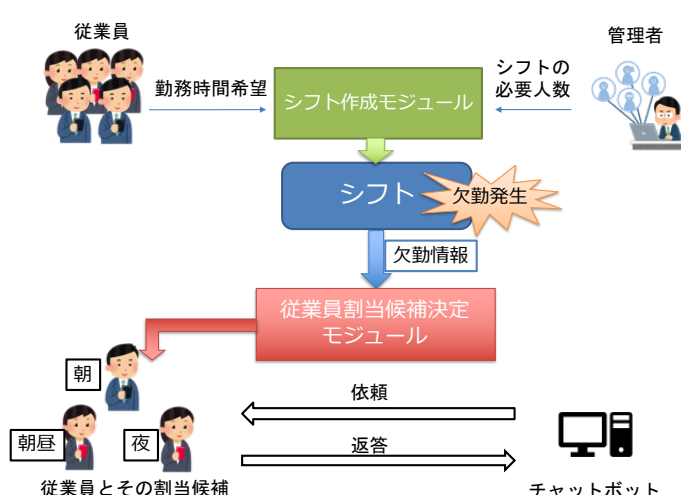


図 1: シミュレーション環境の概要

表 1: シフト形式

従業員	1 日	2 日
Worker1	9:00-12:00	
Worker2		12:00-18:00

3 シミュレーションモデル

代替出勤依頼手法の比較検討のためには現実を反映したシフトの作成と従業員の行動の再現の必要がある。妥当な効果検証結果を得るためにはシフトや従業員の分布を変化させて検証を行わなければならないが、単純に実データを用いるだけでは十分な量のシフトや従業員のデータの確保は難しい。そこで本研究では現実のデータをもとにシフトの作成と従業員の行動を表現するモデルを設計し、それらを用いて作成したシミュレーション環境において代替出勤依頼手法の比較検討を行った。シミュレーション環境全体の概要を図1に示す。

ここで用いたデータは大規模コールセンター運営会社である株式会社 TMJ の実際のシフトである。

3.1 シフト定義

出勤依頼シミュレーションを行うにあたって、従業員の勤務日時・勤務案件の情報であるシフトの形式を定める。勤務日時はある従業員が何日のどの時間帯に勤務するかを表す情報である。本研究では各従業員について表1のような形式で表されるシフトを考える。表1の場合では Worker1 が1日の9時から12時に勤務し、Worker2 が2日の12時から18時に勤務することを表している。

表 2: 時間帯の分割	
時間帯	名前
9:00-12:00	朝
12:00-15:00	昼
15:00-18:00	夕
18:00-21:00	夜

表 3: シフト形式		
従業員	1 日	2 日
Worker1	朝	
Worker2		昼夕

案件は従業員が従事する仕事の種類を表し、担当するためには対応するスキルを従業員が持っている必要がある。案件のシフトにおける表現はシフトを存在する案件の数だけ独立に作成することで対応した。

上記のようなシフトをコンピュータ上で簡単に扱うために時間の刻み幅を事前に設定する。この刻み幅は表 1 のように現実には 1 時間刻みなどが用いられることが多いが、今回行う代替出勤依頼手法の比較検討という目的のもとでは細かすぎる刻み幅は必要がない。細かすぎる刻み幅はシフト作成にかかる時間が過剰に長くなってしまうなどのデメリットもあるので、本研究で用いる刻み幅は実際の最小勤務時間を反映させた。実データから得られた最小の勤務時間は 3 時間程度で時間帯は 9:00 から 21:00 の間での勤務が大半であった。この分析結果をうけて時間帯の刻み幅は 3 時間で 9:00 から 21:00 を 4 分割で扱うこととした。それぞれの時間帯を表 2 のように朝・昼・夕・夜と呼ぶこととする。

この刻み幅を用いると表 1 のシフトは表 3 のように表される。

3.2 従業員の勤務時間希望モデル

シフトを作成するにあたって従業員の勤務時間希望が必要となる。実際のシフトを分析した結果から、従業員は個人ごとに出勤時間帯と出勤曜日に一定の傾向を持っており特定の時間帯・曜日に出勤することが多いということが分かった。この事実を各従業員が出勤時間帯・出勤曜日のパターンをそれぞれ保持しておりそのパターンに基づいて勤務時間希望を出すという形でモデル化した。

出勤時間帯のパターンは表 4 の 7 種類である。各パターンは実際のシフト配置を k-means クラスタリングすることで分かれたクラスタをもとに作成した。各パターンの比率・希望を出す時間帯の割合についてもその際得られた数値をもとに設計している。

曜日のパターンについても同様に k-means クラスタリングを行った結果をもとに作成した。表 5, 6 にパラメータを示す。出勤曜日のパターンとしては 4 週間内の曜日ごとの勤務希望日数を設定している。また、出勤時間帯パターンごとにどの出勤曜日パターンを取るかの割合を変えることで実際のシフトを反映している。

これらのパターンをもとに勤務時間希望を出す。具体的には自分が該当する曜日パターンで定義されている勤務希望を出す日数分希望を出す日を選択し、これらの日について出勤時間帯パターンに基づいてどの時間帯に希望を出すかを決定するという手続きとなっている。

3.3 シフト作成

作成されるシフトは前述のシフト希望・シフト必要人数を満たしている必要がある。このような条件を満たしたシフトを作成するため、本研究では数理最適化によりシフトを作成することとした。数理最適化をおこなうにあたり、本研究では以下のように拘束条件を定義した。

- (a) 従業員が希望していないシフトには配置しない
- (b) 各日各時間帯のシフト必要人数に対し、配置人数の不足・余剰ができるだけ少ないようにする
- (c) 7 連勤以上にならないようにする
- (d) 従業員がある案件のシフトを担当するのに必要なスキルを保持している
- (e) 1 日に複数の時間帯の勤務をしない

今回定義した拘束条件は特定の現場に特化することがないよう、最低限のもののみを考慮している。(a), (b) の条件については必要人数よりも希望人数が少なく充足したシフトを作成できない場合は少し違反してもよいものとする。たとえ人数が足りなくてもシフトを決めないわけにはいけないので、これは実際の現場でも行われている。

本研究では問題を混合整数線形計画問題として定式化し、汎用ソルバにより厳密解を得る。定式化は(村山 2016)[10]を参考におこなった。線形計画問題を解くための汎用ソルバは数多くのものが存在するが、本研究では線形計画ソルバとして Cbc(Coin-or branch and cut)[11]を用いた。Cbc は商用利用可能なソルバで、無料で利用することができる。

3.4 従業員の依頼返答モデル

依頼を受諾する確率をモデル化することで従業員の依頼返答をモデル化した。従業員の依頼返答のモデル作成に関して出勤依頼シミュレーションを行う際には

表 4: 出勤時間帯パターン

時間帯 パターン名	各パターンの 比率 (%)	希望を出す時間帯の割合 (%)									
		朝昼夕夜	朝昼夕	昼夕夜	朝昼	昼夕	夕夜	朝	昼	夕	夜
MDE	22.2	0	87	3	3	1	0	5	0	0	1
DEN	14.8	1	4	86	0	0	3	0	1	0	5
MD	11.1	0	4	0	86	0	0	10	0	0	0
EN	5.6	1	4	5	3	0	76	2	0	0	9
M	9.3	0	7	0	7	0	0	85	0	0	1
N	27.8	0	4	0	0	0	0	2	0	0	94
Other	9.3	2	16	19	4	8	10	6	9	6	20

表 5: 勤務希望を出す日数

曜日パターン名	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT	SUN
SUNOFF	2	3	3	3	3	4	0
LITTLE	1	1	1	1	1	1	1
SUNSAT	2	2	2	2	2	4	4
AVERAGE	3	2	2	2	2	2	1
WEEKDAY	2	3	3	3	3	0	0

表 6: 各出勤時間帯パターン内での割合 (%)

曜日パターン名	MDE	DEN	MD	EN	M	N	Other
SUNOFF	22	15	12	19	12	13	8
LITTLE	12	26	28	35	42	5	36
SUNSAT	10	28	3	14	6	17	26
AVERAGE	13	16	2	21	3	10	20
WEEKDAY	43	15	55	11	37	10	10

現実との乖離に注意しなければ、シミュレーション上で有効である依頼手法を現実で適用した際に想定していた結果が得られないという問題を引き起こしてしまう。完全に正確なものにするには実際の依頼返答に関するデータをもとにモデル化を行うべきであるが現時点では該当するデータは得られていなかったため、従業員ごとの依頼返答の傾向をある程度反映していると思われる勤務シフトの情報を用いることでモデル化をおこなった。

依頼の受諾しやすさが従業員ごとに異なるということを反映させるため、従業員ごとにベースとなる確率 P を設定する。本研究におけるモデルでは曜日ごと・依頼された出勤時間帯ごとに 1 人の従業員内でも確率が異なるという仮定のもと、このベースとなる確率 P を勤務シフトの情報をもとに変動させる。4 週間内での各曜日の出勤数で変動幅を決定する。変動幅 d は表 7 の通りである。平均を P と変動幅をあわせた $P-d$ 、分散を 0.1 とした $[0,1]$ の受諾確率を確率変数とする切断正規分布にもとづいて受諾確率を決定する。時間帯については出勤したことのある時間帯ならば変動させず、出勤したことのない場合は最終的な確率を半減させるという形で反映させている。

表 7: 各曜日の出勤数による受諾確率の変動幅

出勤数	変動幅 d
0	-0.2
1	-0.1
2	0
3	0.1
4	0.2

3.5 応答時間のモデル

本研究における従業員への代替出勤依頼の伝達方法はチャットを用いることを想定している。したがって応答時間はチャットの応答時間をモデル化したものを用いることとした。モデル化にあたって実際のチャットにおける応答時間がどのようになっているか従業員に対してアンケート調査を行った。その結果大半の連絡に対しては 1 分以内程度に返信が来るが、一部数時間程度かかって返信が来る場合があるということが判明した。これを受けて、各従業員は 90% の確率で平均 5 (分) の指数分布にしたがう応答時間を出すクラスに、10% の確率で $[30, 120]$ の一様分布に従う応答時間を出すクラスに分かれるようにした。このモデル化によって一部の従業員は返信が遅いということを表現している。

4 出勤依頼方法と評価関数

本研究ではベースとなる依頼方法を作成し、その中で評価関数を利用するものやランダムに依頼するものなどを扱う。時間帯ごとの必要人数を入力とし、それを割り当て可能な時間帯の束に分割して割り当てる従業員を決めて依頼を行うというのがベースとなる方法である。割り当て可能な時間帯の束への分割は各束ができるだけ長い時間帯になるようにおこなう。朝昼夕、昼夕夜、朝昼、昼夕、夕夜、朝、昼、夕、夜の順に必要な人数のなかから 1 人で担当可能な範囲として取り出せないかを繰り返し調べることで分割を行う。例として時間帯ごとの必要人数が $[\text{朝}, \text{昼}, \text{夕}, \text{夜}] = [1, 1, 1, 1]$ の場合を考える。まず朝昼夕を 1 人で担当させることが

できるので、必要人数から $[1, 1, 1, 0]$ を取り除く。すると残りの必要人数は $[0, 0, 0, 1]$ となる。このとき夜のみを 1 人に担当させる以外の割り当ては不可能なので $[0, 0, 0, 1]$ を取り除く。すると残り必要人数は $[0, 0, 0, 0]$ となるので分割は終了する。時間帯の分割は朝昼夕:1 人、夜:1 人となる。

こうして定まった時間帯の割り当てごとにどの従業員に依頼を行うかを決定する。本研究では 3 通りの従業員の決定方法を扱う。

4.1 ランダム

ランダムに従業員を決定する。ここで考慮するのは勤務シフト配置のための最低限の制約の充足である。具体的には勤務を依頼される日に入っているシフトがないことや新しくシフト配置された場合 7 連勤にならないということである。

4.2 Greedy

この方法では従業員ごとの受諾確率を評価関数を用いて見積もり、その値が大きい順に従業員を選択する。今回評価関数としては従業員の曜日ごとの見積もり受諾確率 P_{dow} と依頼された時間帯に働いたことがあるかどうかを考慮するものを用いた。依頼された時間帯に働いたことがある場合、出力は

$$P_{dow} \quad (1)$$

ない場合は

$$0.5 \cdot P_{dow} \quad (2)$$

を出力とする。現状では従業員モデルが単純なものになっているので、評価関数も簡易なものを採用した。

曜日ごとの見積もり受諾確率 P_{dow} の初期化は作成されたシフトに基づいて行う。シフトから算出された個人ごとの 4 週間中の各曜日の出勤割合を P_{dow} の初期値として用いる。

4.3 固定人数

上記のランダム・greedy の方法では 1 時間帯に対して 1 人のみに依頼する。実際にはその 1 人が依頼を受けてくれないことを見越して複数人に依頼するという方法が考えられる。そこで本方法では割り当てた時間帯の種類ごとに固定人数に依頼する。例えば、割当時間帯が朝昼夕に 3 人・朝昼に 1 人・固定人数 $N_f = 3$ の場合は朝昼夕と朝昼の 2 つの時間帯の割り当て依頼を 3 人ずつにおこなう。

表 8: 従業員の内訳	
時間帯パターン名	人数
MDE	120
DEN	80
MD	60
EN	30
M	50
N	150
Other	50
sum	540

5 シミュレーション実験

5.1 実験

3 章で作成したモデルを利用したシミュレーション環境上で 4 章で説明した各手法で依頼を行った際の負担の低減効果を比較した。今回想定した状況は全従業員が従事可能な案件に欠勤が発生し、その各時間帯の必要人数が $[n, n, n, n]$ のようにどの時間帯でも同じような場合である。ランダムと greedy 法の比較では、この n の値を $[1, 10]$ で変化させ依頼回数を比較した。その際、ある特定の勤務シフトでのみうまく依頼回数を減らすことができるという限定的な状況における検証にならないよう 20 種類の従業員集合と対応する勤務シフトを作成してシミュレーションに用いた。今回はいつ依頼するかについては考慮しなかったため、1 つのシフト中では 28 日間すべての日に対して欠勤が発生したと考えそのそれぞれに対し代替出勤依頼のシミュレーションをおこなった。これは最適な依頼日に依頼を行うことに相当する。まとめると各手法について $20 \times 28 = 560$ 回のシミュレーションを行った。従業員の数やその内訳は表 8 のようになっている。

5.2 結果

ランダム、greedy、確率が正確にわかっている場合の greedy の平均依頼回数、平均依頼人数は図 2、3 のようになった。

図 2、3 より提案手法における初期値決定法を用いることでいくらかランダムの場合よりも greedy の場合のほうが少ない依頼回数で依頼を終了できることが多いということがわかる。また、従業員の受諾確率を正確に捉えられた場合 (図中における Precise) では欠勤の規模 n が大きくなると初期値の greedy 法よりも倍以上平均依頼回数の差がついている。平均依頼人数についても同様の傾向が見られる。このことは代替出勤依頼において従業員の受諾確率を正確に見積もることが大きな依頼回数の低減に繋がる可能性が高いということを示している。

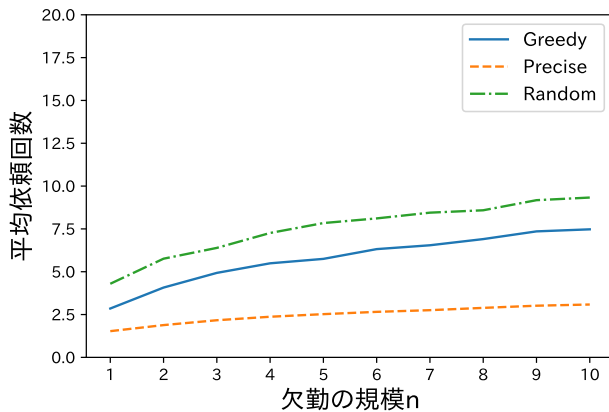


図 2: 欠勤規模ごとの平均依頼回数

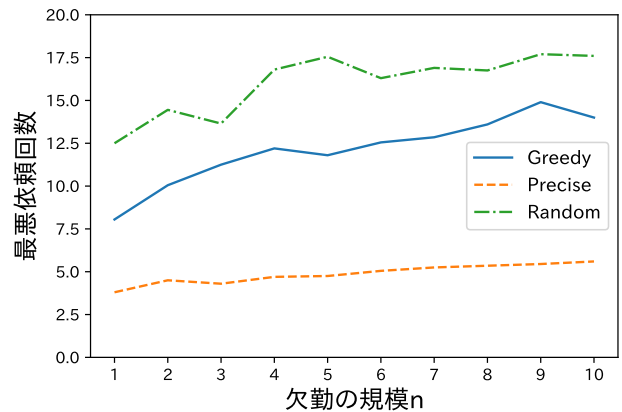


図 4: 欠勤規模ごとの最悪依頼回数

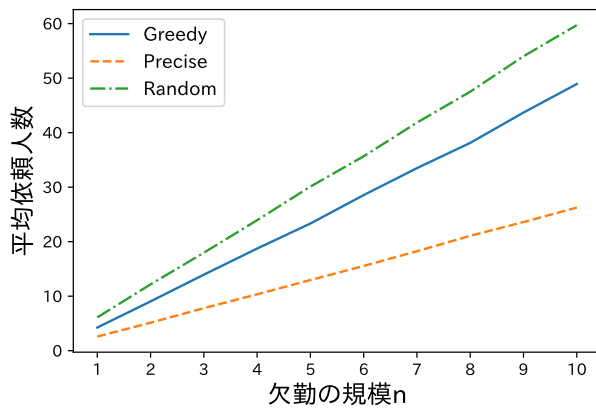


図 3: 欠勤規模ごとの平均依頼人数

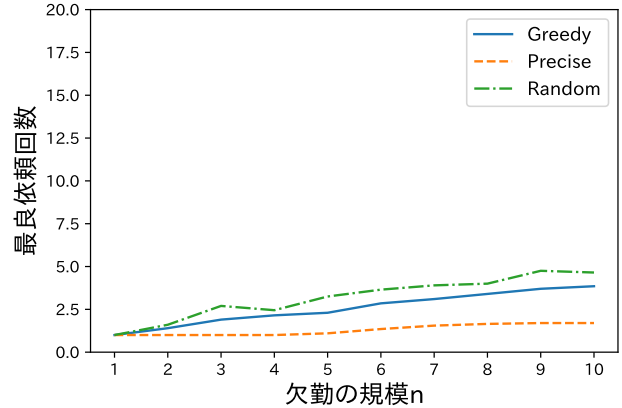


図 5: 欠勤規模ごとの最良依頼回数

示している。正確な受諾確率の見積もりのための方法としては (1) 事前にアンケートをとる, (2) 依頼結果から見積もりを修正する, の 2 通りが考えられる。 (1) の方法は規模の小さい事務所等では有効であると考えられるが, 正しい受諾確率を得るための適切なアンケート設計・実施など高いコストがかかることが想定される。特に大規模コールセンターなどの従業員数が多い事務所では適用が難しくなる。 (2) の方法は高い精度で受諾確率を見積もることは困難になると考えられるが, 導入しやすいという大きな利点がある。 greedy の結果を理想的なものに近づけることで依頼回数がいくらか改善することが見込まれるので, (2) を実現するための手法を研究することには大きな意義があるといえる。

平均依頼回数に関連する結果として, 最悪・最良の依頼回数は図 4, 5 のようになった。最悪・最良依頼回数はいずれも規模が大きいほど正確に受諾確率を把握しているものとランダム, 初期値の greedy との差が大きくなっている。最良依頼回数については規模が小

さい範囲ではほとんど差がない。これは少ない人数に対する依頼となる欠勤規模が小さい場合にはランダムに依頼する従業員を選んでもたまたま依頼を受けてくれる人に当たることで最小の値に近づきやすいからということが理由であると考えられる。

固定人数依頼手法において固定人数を変化させた場合の結果は図 6, 7 のようになった。図 6 より一度に依頼する人数を増やすほど平均依頼回数が減少することがわかる。また, その減少幅は人数を増やすにつれ小さくなる。図 7 より固定人数が増加するにつれ線形に過剰に集まる人数も増えていくことが分かる。欠勤規模が 1 のときとそれ以上の場合で増加の割合が異なるのは, 過剰に集まる人数が $n=1$ だと 2 以上の場合固定人数の増加分が直接反映されるが, n が 2 以上であれば最後の 1 人を集める際にのみ過剰が発生しうることによるものである。実際図 8 をみると, 規模が大きい場合の点が近くなっている。このことを克服するためには残り人数に応じた適応的な人数決定が重要であ

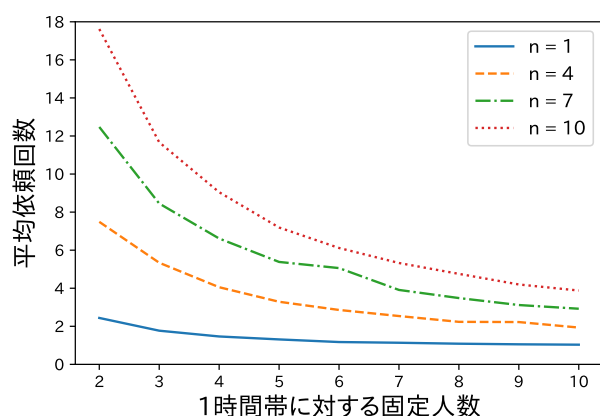


図 6: 固定人数を変えた際の平均依頼回数

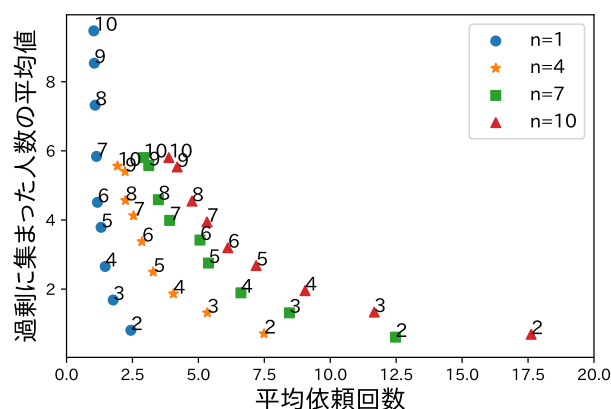


図 8: 平均依頼回数と過剰人数の関係

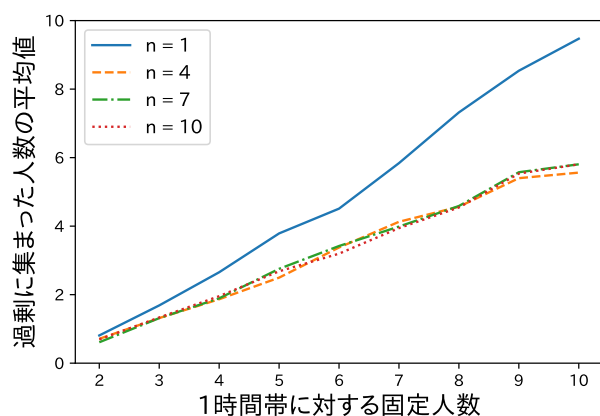


図 7: 固定人数を変えた際の過剰に集まった人数

るといえる。

6 結論と今後の課題

本研究ではチャットボットを用いた代替出勤依頼を想定したモデルを作成し、モデルを用いて3つの依頼手法の負担低減効果や代替出勤依頼手法を考える意義があることを示した。モデルの作成は実データの解析から得られた知見を利用して行ったため、現実の分布を反映したモデル案の提案となっている。また、シミュレーション結果から従業員の受諾確率を正確に把握することで期待される負担低減効果が大きいということを示した。複数の従業員に同時に依頼を行うことでの依頼回数の削減幅を見積もり、今後の依頼手法の改良の方向性を確認した。

今後の課題としてはより現実を反映したモデルに改良し、従業員評価関数の高度化を通じた依頼手法の改良をはかる必要がある。同時に、欠勤の状況について

も今回は限られた場合のみの検証となっているのでより複雑な現実で考えられる状況における各依頼手法の有効性検証も欠かせない。また、本シミュレーションで有効性を確認した手法を実際の現場での適用しシミュレーション上の結果との比較を行ってより正確なモデル設計を行う必要もある。

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] 総務省統計局. 労働力調査(詳細集計) 平成 29 年(2017 年) 7~9 月期平均(速報) 結果. <http://www.stat.go.jp/data/roudou/sokuhou/4hanki/dt/index.htm>. (Accessed on 28/01/2018).
- [2] Jorne Van Den Bergh, Jeroen Beliën, Philippe De Bruecker, Erik Demeulemeester, and Liesje De Boeck. Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, No. 3, pp. 367–385, 2013.
- [3] Jeffrey L. Arthur and A. Ravindran. A multiple objective nurse scheduling model. *A I I E Transactions*, Vol. 13, No. 1, pp. 55–60, 1981.
- [4] K A Dowsland and J M Thompson. Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 51, No. 7, pp. 825–833, Jul 2000.
- [5] Holmes E. Miller, William P. Pierskalla, and Gustave J. Rath. Nurse scheduling using mathematical programming. *Operations Research*, Vol. 24, No. 5, pp. 857–870, 1976.

- [6] Uwe Aickelin and Kathryn A. Dowsland. An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 31, No. 5, pp. 761 – 778, 2004.
- [7] Brigitte Jaumard, Frédéric Semet, and Tsevi Vovor. A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, No. 1, pp. 1 – 18, 1998.
- [8] N. Xue, D. Landa-Silva, I. Triguero, and G. P. Figueredo. A genetic algorithm with composite chromosome for shift assignment of part-time employees. In *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 1–8, July 2018.
- [9] Alistair Clark, Pam Moule, Annie Topping, and Martin Serpell. Rescheduling nursing shifts: scoping the challenge and examining the potential of mathematical model based tools. *Journal of Nursing Management*, Vol. 23, No. 4, pp. 411–420, 2013.
- [10] 村山要司, 鈴木邦成, 若林敬造, 豊谷純, 渡邊昭廣. パートタイム勤務におけるシフト管理に関する一考察. 日本大学生産工学部第 49 回学術講演会概要, pp. 529–532, 2016.
- [11] Coin-or branch-and-cut mip solver. <https://projects.coin-or.org/Cbc>. (Accessed on 10/10/2018).