

マルチエージェントシミュレーションを用いた 代替出勤者の選定手法の検討

Investigation of Alternative Attendants Selection Methods Using Multi-Agent Simulation

幡本昂平^{*1}

Kohei Hatamoto

横山想一郎^{*2}

Soichiro Yokoyama

山下倫央^{*2}

Tomohisa Yamashita

川村秀憲^{*2}

Kawamura Hidenori

^{*1}北海道大学工学部

School of Engineering Hokkaido University

^{*2}北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology Hokkaido University

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 an agent-based simulation environment, then investigate alternative attendants selection methods on some easy cases.

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といえる。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。

シフト作成業務に関わる重大な問題として、欠勤者発生時のシフト調整がある。これは事前に決定したシフトで予定されていた出勤日に、急な用事の発生により出勤できなくなってしまうというものである。欠勤が発生すると、空いたシフトを埋めるために他の従業員に代わりに出勤してくれるよう依頼する必要がある。この依頼業務もまた、管理者にとって大きな負担となっている。シフトを埋めることができるだろ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よって時間をとられるという時間的な負担がある。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。そこで、本研究ではより効率的に依頼を行い少ない負担でこの業務を終わらせることができるような依頼方法についてマルチエージェントシミュレーションを用いて検討する。

2. 関連研究

2.1 スタッフスケジューリング

数十年にわたり、スタッフスケジューリングに関する研究は幅広く行われてきた。[2] 代表的なものにナーススケジューリングがある。

一般的に、スタッフスケジューリングは組合せ最適化問題として定式化される。実務で扱うようなシフトを作る問題は大部分の場合 NP 困難である。この性質により、最適化問題を解くアルゴリズムの研究が中心に行われてきた。解法は整数計画問題や制約充足問題として定式化して汎用ソルバーを利用する厳密解法と、GA やニューラルネットなどを用いる近似解法に大別される。[3] 近年の計算機環境の発展により大規模な問題に対しても厳密解法が適用できるようになってきている。

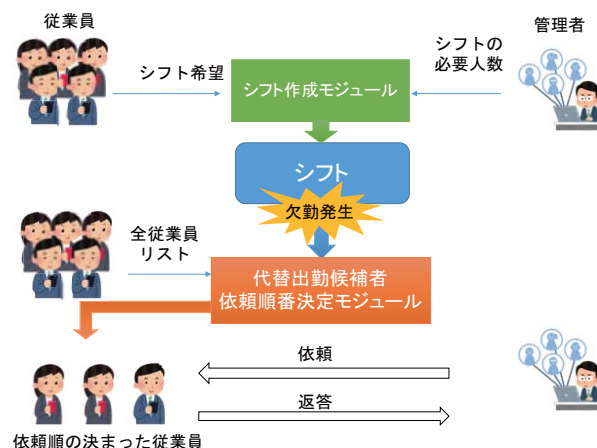


図 1: システムの全体像

2.2 欠勤発生時のスタッフスケジューリング

近年になって研究されるようになってきたのが、シフトを決めた後に欠勤が発生する場合を扱う欠勤発生時のスタッフスケジューリングである。盛んに研究されてきたナーススケジューリングにおいても、北田によると「看護の現場で本人や家族の急病などにより看護師が予定の勤務を急に欠勤する事態が頻繁に発生しているにもかかわらず、研究は最近までほとんど行われていなかった」[4] という。海外の研究では [5, 6, 7, 8] などがある。

しかし、これまでになされてきた研究は欠勤発生時に最小のコストでシフトを修正するというもので、その背後にある従業員への依頼などは省みられていなかった。そこで本研究では欠勤発生時の代替出勤依頼について主眼をおくこととする。

3. シミュレーションシステムの説明

今回、代替出勤依頼を行うアルゴリズムの検証をシミュレーションによって行うために構築したシステムの全体像は図 1 のようになっている。

以下では各モジュール、モデルについて説明する。

3.1 シフト作成モジュール

ここではシフト作成モジュールについて説明する。シフト作成モジュールは従業員からの希望とシフトの必要人数を入力とし、1つのシフトを出力する。

3.1.1 シフト表

まず、今回のシステムで扱うシフトについて説明する。本研究では1日のシフトを朝・昼・夜の3分割で扱うこととした。従業員のシフト希望の傾向分析や依頼時間帯ごとの受諾率の違いをみるには3分割であれば、複雑すぎず取りこぼしも少ないといえる。

今回従業員のシフト割当は時間帯ごとに決めるのではなく、1日に働く時間帯の組み合わせの種類であらわすこととした。ここで組み合わせとして考えるのは朝昼夜・朝昼・昼夜・朝・昼・夜・休みの7つである。シフト割当をこの組み合わせに制限すること朝と夜に働くといった不自然なシフト割当をなくすることができた。

実際の現場では案件（仕事の種類）は複数存在し、従業員ごとに担当可能な案件が異なるということがよくある。また、複数の案件を担当可能な従業員も存在している。このことを表現するため、本システムでは案件ごとにシフト表を作成することとした。

各従業員は1日につき1種類の時間帯のみ担当できるものとする。また、同じ日に複数案件のシフトは担当できないこととしている。この1日のシフト表を1ヶ月分つなげたものが1案件のシフト表となる。

3.1.2 シフト希望

前述のシフトに合わせたシフト希望の形式をここで定義する。従業員は各日に対しどの時間帯に出勤したいか、あるいは休み希望を出すかを選択する。ここでの出勤希望は出勤する事のできる時間帯内なら必ず出勤できるものとして扱う。例えば時間帯「朝昼」に出勤希望を出す場合、「朝」のみ・「昼」のみの時間帯にも出勤可能なものとする。また、シフト希望は案件ごとに区別せずどの案件に配置してもよいこととした。

3.1.3 シフト必要人数

シフトには管理者側でこの日のこの時間帯は何人来てほしいといった日ごと時間ごとの必要人数が存在する。これがシフト必要人数である。今回のシフト表についてシフト必要人数の決め方は複数考えられるが、現実のシフト必要人数の設定を反映し朝・昼・晩のそれぞれに必要な人数を設定することとした。例えば朝に3人従業員が必要な場合、朝昼夜、朝昼、朝の3つの時間帯に働くことになっている人が合計3人いればよいということになる。シフト必要人数は案件ごとに設定され、各案件について必要人数を満たしているようなシフトを作る必要がある。

3.1.4 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。

- 従業員が希望していないシフトには配置しない
- 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
- 7連勤以上にならないようにする
- 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
- 1日に複数の時間帯の勤務をしない

表 1: 学生の効用値

	朝昼夜	朝昼	昼夜	夜	昼	朝	休み
月	5	10	10	30	20	10	30
火	5	10	10	30	20	10	30
水	5	10	10	30	20	10	30
木	5	10	10	30	20	10	30
金	5	10	10	30	20	10	30
土	20	30	30	40	40	40	5
日	20	30	30	40	40	40	5

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かないので、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)[9]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)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。

3.2 代替従業員抽出モジュール

このモジュールでは制約を満たした代替出勤可能な従業員を抽出する。制約の内容は欠勤となったシフトの時間帯にシフト配置されていないことと、代替出勤した場合7連勤にならないことである。前者の制約は代替出勤が可能かどうかを定めるために必ず必要なものである。後者の条件は一般に法律上7連勤以上の連勤は認められないことが多いので設けた制約である。

3.3 モデル定義

ここではシミュレーションに用いる各モデルの定義をおこなう。

3.3.1 従業員モデル

従業員モデルはシフト希望を出し、代替出勤依頼に対する返答を行うものである。今回作成する従業員モデルはパラメータの分布を変えた3つの職業クラスから構成されるもの考える。後述するパラメータの特徴から、3つの職業クラスを”学生”，”主婦”，”フリーター”と呼ぶこととする。以下では行動定義について説明しながら、適宜使用する属性についても言及する。

まず、希望について説明する。希望とはシフト希望を出す行動で、シフトの日数分の回数おこなわれる。シフト希望の形式は3.1.3節で述べたとおりである。今回のモデルでは各曜日の各シフト時間帯にそれぞれ効用を設定し、効用が最大となるような希望をだすというモデル化をおこなった。

効用の算出方法について説明する。職業クラスごとに一定の傾向を持たせるため、それぞれベースとなるシフトの効用値を設定する。この効用値は曜日ごと・シフト時間帯ごとに設定する。以下に例として学生クラスの効用値 V を表1に示す。

また、個人ごとに曜日・時間帯ごとの重みを設定する。これは値域 $[0, 1.5]$ の 7×7 一様乱数行列 W とする。クラス別効用に重みをかけて乱数値 c を加算したものをある日の効用値とする。ある曜日 d における各シフトの効用値は以下の式で得られる。

$$V[d] \times W[d] + c \quad (1)$$

ここで乱数 c は離散選択モデルでよく用いられるガンベル分布とした。ガンベル分布の確率密度関数は以下の式で表される。

$$p(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{x-u}{\beta}\right) \exp\left(\exp\left(-\frac{x-u}{\beta}\right)\right) \quad (2)$$

パラメータは $\beta = 10, u = 5$ である。

次に、依頼に対する返答について説明する。依頼に対する返答は

- 依頼の連絡を受けることができるか
- 代替出勤依頼を受けるかどうか

の2つのステップからなる。依頼の連絡の方法については様々なものが考えられるが、今回は電話による連絡を想定する。

まず、依頼の連絡可否のモデルについて説明する。依頼の連絡可否の決定は職業クラスごとに定めた曜日ごとと時間ごとと一定の確率のもとで行われる。1日の中・曜日ごとに確率を変えることで、連絡が付きやすい時間帯とそうでない時間帯が存在することを表現している。今回は学生は午前中と土日に連絡が付きづらく、主婦は土日の昼に連絡が付きづらいように設定している。

次に、代替出勤依頼の受諾可否のモデルについて説明する。本研究では依頼の受諾可否はシフト希望と関係があるという仮定をおき、シフト希望の際に使用した各シフト時間帯の効用値を用いて決定する。具体的にはある日ある時間帯の効用値に、個人ごとに平均を定めた正規分布からサンプリングされる依頼反応値を足したものの V_t が閾値を超えたときに依頼を受諾することとしている。また、ヒアリングによると代替出勤依頼を行う日が欠勤が発生した穴埋めをしなければならない日に近いほど、用事がないという従業員の予定が確定しており、依頼を受けてくれやすいということがある。これを表現するため V_t に欠勤日より離れていればいるほど小さくなるような重みをかけることとする。この重みは次の式で表されるロジスティック関数とした。

$$w = \frac{K}{(1 + b \times \exp^{-c(30-t)})} \quad (3)$$

パラメータは $b = 0.65, c = 0.1, K = 1$ とした。最終的な受諾可否は V_t に t 日目の重みをかけたものが閾値よりも大きいかどうかで判定する。閾値は全クラス共通で 80 とした。

4. 設定とアルゴリズム

本節では今回シミュレーションをおこなう設定と適用するアルゴリズムについて説明する。

どのような欠勤が発生し、どのように対応するかはかなりバリエーションに富んでいる。欠勤の状況を決める項目としては、欠勤人数・欠勤発生日時・欠勤案件種類・管理者人数・同時依頼人数などが考えられる。欠勤人数が1人である場合は単純に代替となる1人を探すだけであるが、複数人の欠勤が発生した場合はどのような順番で欠勤に対応するかなど考慮する事項が多くなる。

そこで、今回おこなうシミュレーションは限定された状況についての依頼手法についての検討をおこなう。具体的には欠勤者が1人のとき、代わりとなる1人の従業員を見つけるという状況を扱うものとする。また、欠勤発生日によって適切なアルゴリズムが変わることが考えられる。そこで、ヒアリングに

職業クラス1		職業クラス2		職業クラス3	
希望	希望なし	希望	希望なし	希望	希望なし

図 2: 各クラス希望優先型の依頼順番 (左から順) の概要図

職業クラス1	職業クラス2	職業クラス3	残り
希望	希望	希望	希望なし

図 3: 希望最優先型の依頼順番 (左から順) の概要図

より得た情報を元に最も欠勤が発生しやすい出勤当日朝とシフト決定直後の2つの欠勤発生日を考えることとする。以下ではこれら2つの場合についてシミュレーション環境の詳細を説明し、適用するアルゴリズムについて説明する。

4.1 欠勤発生日が出勤当日の場合

欠勤発生日が当日朝の場合、できるだけ早く代替出勤者を見つけなければならない。したがって、欠勤が発生した時点で最も依頼を受けてくれやすい人に連絡する必要がある。そこでいくつかの依頼順番を決めるアルゴリズムを作成し、その結果を比較することとした。

今回作成したアルゴリズムでは各時間帯における電話のやすさを既知の情報とする。また、シフト希望をだしていることと代替出勤依頼を受けてくれることに相関をもたせたモデルとなっているのでシフト希望を考慮に入れるかどうかでの平均依頼人数の変化をみることとする。シミュレーションをおこなった依頼順番決定アルゴリズムは以下の4種類となる。

- 電話のでやすい順に依頼
- 希望をだしている人に優先して依頼
- 電話に出やすい順に依頼・電話の出やすさが同じ場合は希望をだしている人優先
- 希望をだしている人優先・希望を出している人の中では電話に出やすい順に依頼

これに加えて、ベースラインとしてランダムな順番で依頼した場合の平均依頼人数もシミュレーションにより求める。

4.2 欠勤発生日が月初めの場合

欠勤発生日が月初めの場合、当日中に依頼を完了する必要があるので依頼日を分散させることが可能になる。そこで、複数の日に分散させて依頼を行う手法を考える。

複数の日に分散させる場合はいくつかアルゴリズムを考える。1つ目として、職業クラスごとに依頼日を分け、その中で希望の有無により優先度を変えて依頼する方法を説明する。この方法を各クラス希望優先型とよぶ。これは依頼順が図2のようになる方法である。ここで職業クラスの順番は一例であり、実際には依頼受諾者の職業クラスの偏りを防ぐため無作為な職業クラスの順番で依頼することとなる。この方法では希望をしていない人に依頼を行いやすくなってしまい、非効率であることが考えられる。そこで2つ目として、依頼を受けてくれやすい人に先に依頼してしまいその後で希望をだしていない人に依頼をするという方法を考える。こうすることで、依頼人数を削減できる効果が期待できる。この方法を希望最優先型とよぶ。この方法の依頼順は図3のようになっている。

以上の2つの方法について第5章でシミュレーション環境を用いた適用テストを行い、効果を確認する。

表 2: 平均依頼人数の比較

手法	平均依頼人数
電話のみ	3.21
希望のみ	2.88
電話優先希望考慮	2.76
希望優先電話考慮	2.64
ランダム	3.98

5. 実験

前節で説明したアルゴリズムの効果をシミュレーションによって確かめる実験の結果を示す。まず共通するシミュレーション環境の設定について説明する。

扱うシフトの日数は 30 日間とし、従業員数は 300 とする。従業員の職業クラスの内訳は、7 割が主婦、2 割が学生、1 割がフリーターとなるようにした。またスキル数は 4 つとし、それぞれ 100 人、70 人、70 人、60 人を割り当てた。複数スキルをもつ従業員も少数ではあるが導入し、スキル 1 を持っている従業員のうち 25 人がスキル 2 も担当でき、スキル 2 を持っている従業員のうち 15 人がスキル 1 も担当できるようにしている。シフトの必要人数については、現実 に即したシミュレーションを行うために株式会社 TMJ のある 11 月のシフトの必要人数をそのまま用いている。

5.1 欠勤発生日が出勤当日の場合のアルゴリズム

この設定では欠勤発生日は 30 日間のどこでもよいので、1 つのシフトに対し 30 日間すべての日について欠勤が朝発生した場合を扱うこととする。また、作成されたシフトによるばらつきを無くすため、シフト作成モジュールにより生成した 100 種類のシフトに対して欠勤を発生させる。

本実験では欠勤が 1 人発生したとき、その代替となる従業員が見つかるまでの平均依頼人数を比較する。

結果は表 2 のようになった。この表から、いずれの手法もランダムに依頼するよりは改善していることがわかる。電話のみ考慮した場合と希望のみ考慮した際の効果は希望の方が大きいことが分かる。これは今回のモデルでは電話が通じないということが少ないためであると考えられる。また、希望と電話の優先度では、希望を優先したほうがよいという結果が得られた。差は大きなものではないのでどちらでも差し支えはないと思われ、どちらの要素も考慮することがより少ない依頼人数で依頼を終わらせることができることに貢献しているといえる。

5.2 欠勤発生日が月初めの場合のアルゴリズム

複数日に分散して連絡する場合は、依頼日による違いはないので欠勤発生日は 30 日間のどこでもよいといえるが、欠勤発生日の数日前に依頼をしなければならない都合上シミュレーション上で定義されていない開始前の日付は扱いづらい。月月初めの日に関して実験を行わなくても多様なシフトに対して実験すれば同様の結果を得られるので、10 日から 30 日までの日で欠勤を発生させることとした。

各方法に基づいて依頼したときの平均依頼人数は方法 1 で 3.53 人、方法 2 で 2.84 人になった。方法 1 では希望をしていない人にも早い段階で依頼してしまうので平均依頼人数が大幅に増加してしまった。方法 2 では希望をしていない人への連絡を後回しにした結果いくらか平均依頼人数が改善した。

6. まとめと展望

今回の研究ではシフト調整においてこれまで注目されてこなかった欠勤発生時の代替出勤候補者への連絡という問題について、様々な代替出勤候補者選定アルゴリズムを検討するためシミュレーション環境を作成し、作成した環境を用いて幾つかのアルゴリズムを検討した。アルゴリズムのシミュレーション結果から一定の依頼人数低減効果が見込まれることがわかった。

今後はより現実世界の状況を再現できるシミュレーション環境にするための改良と、現実世界におけるアルゴリズム適用テストを行いその結果を踏まえたアルゴリズムの再検討をおこなう。

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] 鈴木邦成, 村山要司, 若林敬造. ナーススケジューリング問題の現状と展望. 第 77 回全国大会講演論文集, No. 1, pp. 213–214, mar 2015.
- [4] 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.
- [5] Michael Mutingi and Charles Mbohwa. Fuzzy Multi-Criteria Simulated Evolution for Nurse Re-rostering. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2016.
- [6] Broos Maenhout and Mario Vanhoucke. Reconstructing nurse schedules: Computational insights in the problem size parameters. *Omega (United Kingdom)*, Vol. 41, No. 5, pp. 903–918, 2013.
- [7] Zdeněk Báumelt, Jan Dvoák, Pemysl Šcha, and Zdeněk Hanzálek. A novel approach for nurse rostering based on a parallel algorithm. *European Journal of Operational Research*, Vol. 251, No. 2, pp. 624–639, 2016.
- [8] A Clark, Pam Moule, L Brodie, and A Topping. The challenge of rescheduling nursing staff; informing the development of a mathematical model decision tool. Technical report, 2014.
- [9] 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.