

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

徳永 拓真^{1,a)} 田中 勇真^{1,b)} 池上 敦子^{1,c)}

概要: 飲食店や販売店などの非正規雇用のスタッフが主力である現場ではスタッフの勤務可能な時間帯が限られているため、個人を意識したスケジューリングが必要である。また、現場によって営業時間や働くシフトの長さ、業務の数や勤務ルールが異なるため、どの現場にも適用できるモデルの構築が難しい。これに対し、本研究では現場ごとに異なる状況や個々のスタッフの都合を1日単位のスケジュールに組み入れることを考える。これらを組み合わせることで、現場の違いやスタッフの都合を考慮できるモデルを提案し、それに基づくスケジューリング支援システムを構築する。また、過去のスケジュールからその傾向を観察し、それらをスケジューリングに取り込む方法を検討する。

1. はじめに

本研究では、ある期間を対象に、各日の業務にスタッフを割り当てて勤務表を作成するスタッフスケジューリングを扱う。特に勤務表作成の管理方法が「スタッフ申請型」と呼ばれる非正規雇用のスタッフが主力となる現場を対象とする。このような現場では、各スタッフの勤務可能時間帯が限られており、個々の能力を考慮しながら各時間帯の各業務に必要な人数を揃えるよう勤務表を作成しなければならない。スタッフスケジューリングについては1950年代頃から非常に多くの研究がなされている[1][2]。文献で紹介されているモデルでは、人を特定せず各日の各時間帯の必要人数が揃う「最小スタッフ数のスケジュール」を作り、あとからそれらにスタッフを割り当てている。従って、個々のスタッフの都合や希望まで考えたモデルとなっていない[3]。また、市販の勤務表作成支援システムも存在するが、実績管理には使われていてもスケジューリング機能が使われていないことが多い。使われない理由としては、1. 良解を与えない、求解時間が遅いといった、内部で利用されているモデルやアルゴリズムに問題があること、2. 作成者が考慮する条件を全て入力しようとすると入力時間が大きくなってしまふこと、3. 作成者が潜在的に考慮している条件が存在し、制約条件として明確にできないことから、望むような勤務表が出来上がらない場合がある、等が

挙げられる。

本研究では、各スタッフの勤務可能性や希望を考慮するとともに、販売店や飲食店など、一日の勤務のルールやタイムスロット(考慮する最小時間単位)の幅等が異なる多くの現場に対応できる汎用的なモデルを提案する。そして、そのモデルを基に意思決定支援システムの構築を行う。さらに、過去の勤務表における特徴や傾向を観察し、それらをスケジューリングに取り込む方法を検討する。

2. 現場アンケート調査結果

複数の現場(店舗)の勤務表作成における共通部分と差異、作成時に考慮していることを把握するために、勤務表作成者を対象に2013年3月にアンケート調査を行った(回答数:515)。表1は作成者が勤務表作成時にどのようなことをどの程度考慮しているのかを表したものである。表中の考慮項目は、複数の現場に対して予備調査(聞き取り調査)して得た内容であり、数値は各考慮項目に対し、「絶対に考慮」「出来れば考慮」「気にしない」と回答した割合(%)を示している。「絶対に考慮」列の数値につけた下線は、30%以上の回答者が回答したことを示しており、ベテランの配置やスタッフの働く時間量や時間帯が重視されていることが分かる。

各時間帯において業務ごとにスキルレベルを考慮しながらスタッフ数を揃えることはどの現場でも共通なものである。従って、現場による勤務表作成の違いは、スタッフの1日における働き方の違い(単日スケジュールの違い)にあると考えられる。本研究ではこの着眼点に基づいたモデルを構築する。具体的には業種や店舗の働き方に合わせた実

¹ 成蹊大学
Seikei University, Musashino-shi, Tokyo 180-8633, Japan
a) toku@cleo.ci.seikei.ac.jp
b) ytanaka@st.seikei.ac.jp
c) atsuko@st.seikei.ac.jp

表 1 アンケートの調査結果 (考慮項目に対する回答割合 (%))

考慮項目	絶対に考慮	出来れば考慮	気にしない
ベテランを必ず配置	31.1	47.0	21.9
スタッフの能力	28.5	56.5	15.0
スタッフ間の人間関係	10.9	50.7	38.4
人件費	28.2	53.2	18.6
勤務時間の長短	23.9	55.5	20.6
連続勤務時間	44.5	43.3	12.2
公平さ	33.2	51.7	15.1
希望時間・曜日	42.9	50.7	6.4

行可能な単日スケジュールを利用することで、これまで扱
いが困難とされてきた「現場ごとの違い」をパラメータ設
定(実行可能単日スケジュールの生成)で全て表現してしま
うことを考える。

3. 提案モデル

本研究では、各スタッフの各日に対する実行可能な単日
スケジュール(個別単日スケジュール)を予め列挙してお
き、各スタッフの各日において高々1つの個別単日スケ
ジュールを選択し、組み合わせる人数を揃える定式化を提
案する。個別単日スケジュールは現場の営業形態や勤務
ルールに合わせて様々なものを設定できるが、対象スタッ
フの可能時間帯やスキルにあわせて絞り込まれたもので
あり、長さも1日分なので、その数が膨大になることはなく、
列挙も容易である。

定式化のための記号説明

スタッフの集合を M 、日にちの集合を D 、日 j のタイム
スロットの集合を H_j ($j \in D$)、業務の集合を K とする。
スタッフ i の日 j の個別単日スケジュールの集合を P_{ij}
($i \in M, j \in D$) とし、各個別単日スケジュールは ρ_{ijphk}
($i \in M, j \in D, p \in P_{ij}, h \in H_j, k \in K$) で表す(スタッ
フ i の日 j の個別単日スケジュール p のタイムスロット
 h が勤務 k であるとき1, そうでなければ0)。スタッフ
 i の日 j の個別単日スケジュール p の勤務時間を e_{ijp}
($i \in M, j \in D, p \in P_{ij}$)、業務 k で考慮すべきスキルレ
ベルの集合を R_k ($k \in K$)、スタッフ i が業務 k のスキ
ルレベル r を δ_{ikr} ($i \in M, k \in K, r \in R_k$) で表す(ス
キルレベル r であれば1, そうでなければ0)。日 j のタ
イムスロット h の業務 k に必要なスキルレベル r をもつ
スタッフの勤務人数の下限と上限をそれぞれ a_{jhkr} , b_{jhkr}
($j \in D, h \in H_j, k \in K, r \in R_k$)、スタッフ i の総勤務時間
の下限と上限をそれぞれ l_i , u_i ($i \in M$)、そして、日 j に
勤務できるスタッフ数の上限を c_j ($j \in D$) とする。

意思決定変数としては、スタッフ i の日 j に個別単日ス
ケジュール p を採用するとき1, そうでないとき0となる
 x_{ijp} ($i \in M, j \in D, p \in P_{ij}$) を利用する。そして、日 j の
タイムスロット h の業務 k におけるスキルレベル r をもつ
スタッフ数の不足分と過剰分を表す変数をそれぞれ α_{jhkr}^- ,

α_{jhkr}^+ ($j \in D, h \in H_j, k \in K, r \in R_k$)、スタッフ i の総
勤務時間の不足分、過剰分を表す変数をそれぞれ β_i^- , β_i^+
($i \in M$) とする。変数 α_{jhkr}^- , α_{jhkr}^+ , β_i^- , β_i^+ が値をもつ
ことに対するペナルティコストをそれぞれ w_{jhkr}^- , w_{jhkr}^+
($j \in D, h \in H_j, k \in K, r \in R_k$)、 w_i^- , w_i^+ ($i \in M$) とす
る。以下に本研究で提案する定式化を示す。

定式化

minimize

$$\sum_{j \in D} \sum_{h \in H_j} \sum_{k \in K} \sum_{r \in R_k} (w_{jhkr}^- \alpha_{jhkr}^- + w_{jhkr}^+ \alpha_{jhkr}^+) + \sum_{i \in M} (w_i^- \beta_i^- + w_i^+ \beta_i^+) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{p \in P_{ij}} x_{ijp} \leq 1 \quad i \in M, j \in D \quad (2)$$

$$a_{jhkr} - \alpha_{jhkr}^- \leq \sum_{i \in M} \sum_{p \in P_{ij}} \delta_{ikr} \rho_{ijphk} x_{ijp} \leq b_{jhkr} + \alpha_{jhkr}^+ \quad j \in D, h \in H_j, k \in K, r \in R_k \quad (3)$$

$$l_i - \beta_i^- \leq \sum_{j \in D} \sum_{p \in P_{ij}} e_{ijp} x_{ijp} \leq u_i + \beta_i^+ \quad i \in M \quad (4)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{p \in P_{ij}} x_{ijp} \leq c_j \quad j \in D \quad (5)$$

$$x_{ijp} = 0 \text{ or } 1 \quad i \in M, j \in D, p \in P_{ij} \quad (6)$$

$$\alpha_{jhkr}^-, \alpha_{jhkr}^+ \geq 0 \quad j \in D, h \in H_j, k \in K, r \in R_k \quad (7)$$

$$\beta_i^-, \beta_i^+ \geq 0 \quad i \in M \quad (8)$$

各式の意味は以下の通りである。

- (1) 各日各タイムスロット各業務における各スキルレベル
のスタッフ数の過不足の加重和と、各スタッフの総勤務時
間の過不足の加重和の総和を最小化する
- (2) 各スタッフの各日に選択される個別単日スケジュール
は高々1つとする
- (3) 各日各タイムスロット各業務における各スキルレベル
のスタッフ数の上下限を守ろうとする
- (4) 各スタッフの総勤務時間の上下限を守ろうとする
- (5) 各日の勤務スタッフ合計人数の上限を守る
- (6), (7), (8) 各変数の値域を表す

現場によって異なる1日のスケジュールをスタッフ毎に
全て P_{ij} という集合で表すモデルを構築することで、営業
時間も全く違う多くの現場に適用可能であると考えられる。

4. 計算実験

提案した定式化に基づいて、ある飲食店を対象に期間
1ヶ月の勤務表作成を行う計算実験を2012年10月から
2013年3月までの6ヶ月分行った。スタッフ数は16人~
18人(月によって変動)、勤務対象時間は14時~24時、業
務の種類は3種類(常勤業務、ホール、キッチン)、タイム
スロット幅は30分である(各スタッフの可能業務とスキ

ルレベル、勤務可能時間帯、総勤務時間の上下限等の詳細データはここでは省略する)。これらの問題例を整数計画問題ソルバーの IBM CPLEX Ver.12.5.0.0 を利用して求解した。計算環境は Intel(R) Core(TM) i7-2600 CPU メモリ 3.40GHz である。ここでは、 $w_{jhkr}^-, w_{jhkr}^+, w_i^-, w_i^+ = 1$ と設定した場合の結果を表 2 に示す。

表 2 各月の結果 (過不足数, 現場の勤務表との一致度, 求解時間)

対象月	$\sum \alpha_{jhkr}^+$	$\sum \alpha_{jhkr}^-$	$\sum \beta_i^+$	$\sum \beta_i^-$	一致率	求解時間
10月	0	7	3	0	94.1%	0.85 秒
11月	0	7	20	0	93.6 %	0.53 秒
12月	0	16	34	0	93.4 %	0.93 秒
1月	0	258	30	288	92.5 %	0.94 秒
2月	0	29	6	0	93.6 %	0.69 秒
3月	0	6	0	0	93.8 %	0.72 秒

表 2 では、各日各タイムスロットの各業務の各スキルレベルにおけるスタッフの過不足 ($\alpha_{jhkr}^+, \alpha_{jhkr}^-$) の総和、各スタッフの総勤務時間の過不足 (β_i^+, β_i^-) の総和と現場の勤務表との一致率 (各日のタイムスロットごとに同じ業務になっている割合)、そして求解時間を示している。いずれの月でも 1 秒弱で最適解が得られた。10~2 月の結果では現場の勤務表よりも勤務人数の過不足を減らすことに成功した (3 月は同じ)。スケジュールの内容も現場で作成されたものと 90% 以上一致していたため、提案モデルは、勤務表の質を上げながらも現場の勤務表作成を実現できると考えられる。

提案モデルを利用して目指す勤務表を作成できたので、モデルの妥当性をもっと詳しく検証するために出来る限り多くの勤務表作成を行う必要がある。

5. 支援システムの構築

現場で提案モデルを評価するため、提案モデルに基づいた意思決定支援システムのプロトタイプを構築した。

支援システムでは、Microsoft Office Excel を使用する。勤務表作成に必要なデータを入力し、汎用ソルバーを利用して求解する。そして、得られた解を勤務表として表示する。支援システムの作業の流れを以下に示す。

(1) 基本情報を入力する

- 店舗基本情報
 始業・終業時間、タイムスロット (幅)、業務の種類とその時間帯とスキルレベルごとの必要スタッフ数 (上下限)、スタッフの 1 日における勤務時間 (上下限)、各業務の連続可能勤務時間 (上下限)、他業務を間に挟めむことが可能か否か、同一日に一緒に行えない業務、連続出来ない業務

- スタッフ基本情報
 スタッフの名前 (ID)、期間内の総勤務時間 (上下限)、担当可能業務とスキルレベル

(2) ポテンシャルスケジュールを生成する

店舗情報に基づき、その店舗で可能性のあるスケジュールを全て列挙する

(3) 対象期間における詳細情報の入力

- 必要スタッフ数
 各日各タイムスロット各業務における各スキルレベルのスタッフ必要数 (上下限)
- 各スタッフの勤務可能日、可能時間帯

(4) 個別単日スケジュールを生成する

各スタッフの各日について勤務可能時間帯と可能業務を考慮して実行可能スケジュールを列挙する (ポテンシャルスケジュールから条件にあうものを選択)。

(5) 汎用ソルバーを利用して求解する

提案モデル (定式化) に基づき計算ソルバーで求解する (計算ソルバーは、Numerical Optimizer を利用)。

(6) 勤務表を表示する

得られた解を勤務表の形で表示する。各日の勤務時間を示した表と、各日のスケジュールの詳細をチャートで示したものを表示する。

構築した支援システムは、与えた問題例に対し勤務表作成に成功したので、4 節で対象にした店舗の勤務表作成に利用される予定である。

6. 過去の勤務表観察と傾向の反映

構築した支援システムをより有効に活用するため、作成者が潜在的に考慮している条件、評価尺度をいかすことを考え、過去の勤務表の観察をした。例えば、「対象スタッフが夕方から夜にかけて勤務していることが多い」などの傾向があれば、それを反映することを目指す。過去の傾向を勤務表作成の評価尺度に加えることで、作成者が望むような勤務表作成の手助けになる可能性、また、支援システムの問題点となっている「データ入力量の多さ」をデフォルト値等の自動設定により削減できる可能性がある。そこで、4 節の計算実験で対象にした現場で作成された 5 ヶ月分の勤務表の傾向を観察した。

- 1 一緒に勤務する傾向があるスタッフのペア
- 2 各スタッフに採用される傾向があるスケジュール

このような傾向を数値化が出来れば、3 節の提案モデルに取り込むことが考えられる。以下に各項目に対する数値化例を示し、それを取り込む修正モデルを示す。

【1】一緒に勤務する傾向があるスタッフのペア

各業務で対象スタッフが一緒に勤務しているタイムスロット数を調べ、期間内で発生するその業務の総タイムスロット数で割ることで、スタッフ同士が一緒に勤務している割合 $w_{kii'}^y$ ($k \in K, i, i' \in M, i \neq i'$) を算出した。ここでは、一緒に勤務している時間が長いほど組ませたいペアであると仮定して評価することにした。この割合が高いペアと一緒に勤務する時間を出来る限り多くするような仕組みを作るため、修正モデルでは、業務 k でスタッフ i と

$i'(i \neq i')$ が日 j の業務 k においてタイムスロット h で一緒に勤務するとき 1, そうでないとき 0 となるような変数 $y_{jhkii'}$ ($j \in D, h \in H_j, k \in K, i, i' \in M, i \neq i'$) を導入した. 修正モデルでは, 元の定式化に次に示す (9) 式と (10) 式を加え, 目的関数を (11) 式に変更する.

追加する制約【1】

$$\sum_{r \in R_k} \sum_{p \in P_{ij}} \delta_{ikr} \rho_{ijphk} x_{ijp} \geq y_{jhkii'} \quad (9)$$

$$\sum_{r \in R_k} \sum_{p \in P_{i'j}} \delta_{i'kr} \rho_{i'jphk} x_{i'jp} \geq y_{jhkii'} \quad (10)$$

新しい目的関数【1】

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in D} \sum_{h \in H_j} \sum_{k \in K} \sum_{r \in R_k} (w_{jhkr}^- \alpha_{jhkr}^- + w_{jhkr}^+ \alpha_{jhkr}^+) \\ & + \sum_{i \in M} (w_i^- \beta_i^- + w_i^+ \beta_i^+) \\ & - \sum_{j \in D} \sum_{h \in H_j} \sum_{k \in K} \sum_{i, i' \in M, i \neq i'} w_{kii'}^y y_{jhkii'} \quad (11) \end{aligned}$$

ここで $w_{kii'}^y$ は, 業務 $k \in K$ でスタッフ $i \in M$ とスタッフ $i' \in M (i \neq i')$ が一緒に勤務するときの評価値として利用されている. (9) 式と (10) 式では, 日 j のタイムスロット h の業務 k でスタッフ i と i' が一緒に勤務するときのみ $y_{jhkii'}$ が 1 になることを許し, (11) 式では (1) 式を最小化すると同時に, $w_{kii'}^y$ の値が大きいスタッフ i と i' が一緒に勤務する時間の合計を最大化する.

【2】各スタッフに採用される傾向があるスケジュール

各スタッフが各タイムスロットで業務 k を行った割合を算出した. そして, 多く採用されているスケジュールが対象スタッフにとって好ましいスケジュールであると仮定し, 各スタッフの各日の個別単日スケジュールの好ましきの得点 $w_{ijp}^x (i \in M, j \in D, p \in P_{ij})$ として, (A) 各タイムスロットで勤務している割合の合計, (B) (A) の値を勤務スロット数で割るといふ 2 通り値を考えた. 修正モデルでは, 目的関数を (12) 式に修正し, 各スタッフの各日に対して評価値の高い個別単日スケジュールを多く選ぶようにする.

新しい目的関数【2】

minimize

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in D} \sum_{h \in H_j} \sum_{k \in K} \sum_{r \in R_k} (w_{jhkr}^- \alpha_{jhkr}^- + w_{jhkr}^+ \alpha_{jhkr}^+) \\ & + \sum_{i \in M} (w_i^- \beta_i^- + w_i^+ \beta_i^+) \\ & - \sum_{i \in M} \sum_{j \in D} \sum_{p \in P_{ij}} w_{ijp}^x x_{ijp} \quad (12) \end{aligned}$$

4 節で扱った飲食店を対象に, 観察した 5 ヶ月分の傾向を反映することを目指し, 【1】, 【2】の修正モデルに基づく勤務表を作成し, 4 節で得られた勤務表と比較した.

【1】では, 新しく設定した $w_{kii'}^y$ の値に対し, 元の目的関数に存在した重みづけを 1000 と設定し, 【2】については, w_{ijp}^x の値に対し, 元の目的関数に存在した重みづけを 1, 10, 100, 1000 の 4 種類で実験を行った. 表 3 は各実験ごとに各日の各タイムスロットの各業務の各スキルレベルの勤務人数の過不足 (α_{jhkr}^+ , α_{jhkr}^-) の総和, 各スタッフの総勤務時間の過不足 (β_i^+ , β_i^-) の総和と現場の勤務表との一致率, 求解時間を比較したものである.

表 3 結果の比較 (過不足数, 現場の勤務表との一致度, 求解時間)

モデル	$\sum \alpha_{jhkr}^+$	$\sum \alpha_{jhkr}^-$	$\sum \beta_i^+$	$\sum \beta_i^-$	一致率	求解時間
提案モデル	0	6	0	0	93.8 %	0.72 秒
【1】	0	6	0	0	94.9 %	25434 秒
【2】(A)-1	34	6	0	0	95.3 %	0.75 秒
【2】(A)-10	0	6	0	0	95.4 %	0.75 秒
【2】(A)-100	0	6	0	0	95.5 %	0.75 秒
【2】(A)-1000	0	6	0	0	95.6 %	0.75 秒
【2】(B)-1	0	6	0	0	94.4 %	0.76 秒
【2】(B)-10	0	6	0	0	95.4 %	0.75 秒
【2】(B)-100	0	6	0	0	95.5 %	0.75 秒
【2】(B)-1000	0	6	0	0	95.6 %	0.75 秒

各傾向を目的関数に取り込むことで, 3 節の提案モデルで得られた解よりも一致率が上がっていることを確認した.

7. おわりに

本研究では, 多くの現場に対して適用可能なスケジューリングモデルを構築するために, 各現場の勤務表作成における違いが出やすい 1 日の働き方について着目した. 各現場にあわせた実行可能な単日スケジュールを利用することで人数を揃えると同時に, 各スタッフの希望を考慮できるモデルを提案した. このモデルに基づき実際の店舗を対象に計算実験を行い, 高速に勤務表を作成することが出来た. そして, Microsoft Office Excel で簡単に入出力でき, 提案モデルを基に汎用ソルバーを利用できる支援システムを構築した. 必要データを入力することで, 十数秒で勤務表を得ることが出来るようになると同時に, スタッフの勤務時間量や勤務人数が妥当かどうかの検討も出来るようになった.

謝辞 本研究は, JSPS 科研費 26350435, 25350434 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] A.T.Ernst, H.Jiang, M.Krishnamoorthy, B.Owens, D.Sier, Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering, Annals of Operations Research Vol.127, pp.21-144, 2004
- [2] A.T.Ernst, H.Jiang, M.Krishnamoorthy, D.Sier, Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, European Journal of Operational Research Vol.153, pp.3-27, 2004
- [3] J.F.Bard, C.Binici, A.H.deSilva, Staff Scheduling at the United States Postal Service, Computers & Operations Research, Vol.30, No.5, pp.745-771, 2003