

## スタッフスケジューリングにおける修正しやすさを考慮した解の分析

総合研究大学院大学 久保琢磨 (Takuma Kubo)  
The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

国立情報学研究所 宇野毅明 (Takeaki Uno)  
National Institute of Informatics (NII)

### 1. はじめに

ホテルや看護師などスタッフの勤務スケジュールを作成する問題をスタッフスケジューリングという。この問題は、業務に必要なスタッフを、各スタッフの労働条件を満たしつつ割当てる問題であるが、様々な制約があるため、難しい問題となっている。現実世界の様々な場面で現れるこれらの問題は、多くの場合複雑な制約を持ち、また個々の場面に特有な条件もあるため、全ての場面で共通に利用できるようなモデル構築は非常に難しい。制約の種類を多くすれば解法の構築も難しくなる上、各場面に応じて現れる新しい制約や評価基準に対応するためのカスタマイズが必要となる。スタッフスケジューリングは非常に多くのバリエーションがあり、かつ小規模な問題であることが多いため、これは現実的なアプローチではない。逆に本研究では、一般的な条件のみを考慮し、シンプルかつ汎用性の高い手法で得られた解をユーザが修正することで場面に対応する、というアプローチを考える。ここで重要となるのはユーザの修正作業の負担の軽減である。しかし、どのような要因が修正の難易度に関係しているのかは、現在のところ明らかになっていない。そこで、本研究では、実際のホテルの問題を計算機を用いて解いたいくつかの勤務スケジュールについて、被験者が修正作業を行うという実験を行い、結果を分析した。結果、絶対制約と考慮制約を等価なものとして扱って得られた解、制約違反の伝播を少ない解、1つ1つの修正作業が容易で、最後まで自由度がある解が修正しやすい解と考えられることが分かった。

### 2. 対象問題説明

スタッフ数を  $m$ 、スケジューリング期間数を  $n$  とすると、この問題は  $m$  行  $n$  列の表に、シフトの種類を割当てる問題となる。一般的にホテルや看護師の職場等では、2交代制や3交代制、または両方が混在している場合がほとんどである。対象ホテルは2交代制と3交代制が混在している。シフトには日勤(A)、夜勤(N)、準夜勤1(C1)、準夜勤2(C2)、夜勤明け(O)、休み(H)がある。スタッフにはベテラン

社員、普通社員、半新人社員、アルバイトがいる。アルバイトは準夜勤1又は休みのシフトのみ割当可能である為、アルバイトが入る場合のみ2,3交代制が混在する。次に絶対制約(H1)~(H8)と考慮制約(S1)~(S3)を示す。(H1)~(H3)は労働条件に関する制約、(H4)~(H7)は出勤人数に関する制約、(S1)~(S3)はなるべく守りたい制約である。これらの制約はほとんどの職場であられる制約である。

- 全員が7日に一回休みをとる (H1)
- 全員が1ヶ月に6回以上休みをとる (H2)
- 終了から次の勤務まで8時間以上必要  
(満たさないパターン禁止) (H3)
- 日勤は必ず2人の社員出勤 (H4)
- 日勤は1人以上のベテラン社員が出勤 (H5)
- 夜勤は2人の社員出勤 (H6)A
- $j$ 日に準夜勤1のアルバイトが1人いるならば、 $j$ 日の夜勤に社員が1人、 $j+1$ 日の準夜勤2に社員が1人必要(H6)B
- 半新人社員とアルバイトが同時勤務不可 (H7)
- 各スタッフは各日に1つのシフトを割当てる (H8)
- スタッフの希望をなるべく遵守したい (S1)
- 各スタッフの各シフトを適切な回数にしたい (S2)
- 嫌なシフトパターンをなるべく少なくしたい (S3)

### 3. 実験方法

#### 3.1 実験概要

異なるパラメータのもとで最適化を行って、複数の勤務スケジュールを得た。これらを実験問題とし、被験者に修正作業を行ってもらった。被験者は13人で、各被験者は6題の実験問題を修正した。

計算機で求める際に使用した最適化手法は、焼きなまし法(SA)である。計算機ではシンプルなモデルをシンプルな解法で解くことが、本研究の方針であるため、汎用性の高い手法として今回はSAを選択した。SAのパラメータについても至って一般的である。近傍解生成についてはスタッフとスタッフのある日のシフトの交換を主としている。

目的関数は、絶対制約と考慮制約の違反ペナルティの総和とし、絶対制約と考慮制約には、それぞれ重みを与えている。

### 3.2 実験環境と設定

修正作業は、筆者が開発した Excel ベースのツール上で実施する。これは勤務スケジュールに対し、現在どの制約が違反をしているかを瞬時にチェックすることが可能である。紙面などを用いて手作業で修正作業を実施すると、修正作業よりも制約違反のチェックに多大な時間を要する。又、制約違反を見落とす可能性もあり、修正とは異なる部分で、作業者は労力を費やしてしまう。そこで、制約違反をチェックする時間を極力抑え、修正作業に集中するために、制約違反チェックツールを開発し、ツール上で実験を行なった。実験を行う前に、勤務スケジュール、実験ツールに慣れる為の練習問題を設けた。被験者の平均練習時間は約 1.5 時間である。

被験者が各実験問題について修正作業を行い、ある程度被験者からみて公平であると判断した段階で終了とした。尚、25 分たっても終了しなければそこで終了としてもよいとした。被験者の方針が異なる状況で実験を実施した理由として、様々な作成者が修正時に考慮することはそれぞれ異なるので、異なる状況の下、何が共通して現れるかを知る必要がある為である。

又、被験者は、計算機で勤務スケジュールを求めた際に考慮されていない新しい制約を追加して、修正作業を行う。現実の場面では、計算機で求める際に考慮することを忘れていた制約、勤務スケジュール作成者が無意識に考慮している制約などに直面する場面が多々ある。再度カスタマイズしては多大な時間を要してしまう。修正時に新しい制約を容易に考慮することが可能ならば、勤務スケジュール作成者にとって、より扱いやすい勤務スケジュールといえるであろう。そこで、今回は(N1)(N2)の 2 つの制約を新しい制約とする。

連休を除き、休みと休みの間隔は 2 日以上 (N1)  
社員同士(社員 3 と社員 4, 社員 5 と社員 6)が  
月に 1 度以上同じ日に夜勤 (N2)

### 3.3 実験データと実験問題

勤務スタッフは 9 人 (ベテラン社員 2, 普通社員 4, 新人社員 1, アルバイト 2) で、対象期間は 30 日とする。期間中にたくさんの希望を申請するスタッフもいれば、希望しないスタッフもあり、申請頻度はスタッフによって異なる。

実験問題は 6 題で B-1, B-2, B-3.1, B-3.2, B-3.3, C-3.3 がある。計算機で実験問題を求めた際の目的関数は絶対制約、考慮制約違反ペナルティの総和であるが、各制約には重みを与えている。

B-1 は考慮制約よりも絶対制約の方に大きな重みを与え、反対に B-2 は絶対制約よりも考慮制約の方に大きな重みを与えた。また B3-1, B3-2, B3-3, C3-3 は絶対制約と考慮制約の重みを等価にした。つまり B-1 は絶対制約は遵守されているが、考慮制約に違反がある従来どおりの求め方で解いた勤務スケジュール、B-2 は考慮制約は守られているが、絶対制約に違反がある勤務スケジュール、B3-1, 以降は絶対制約と考慮制約に少しずつ違反がある勤務スケジュールとなっている。そして修正時には、B-1, B-2, B3-1 は(N1)を、B-3.2 は(N2)を、B-3.3, C-3.3 は(N1), (N2)を考慮して作業を行う。C-3.3 は B-3.3 と同条件であるが、異なる実験問題である。

表 1 に各実験問題における制約の重要度と、考慮する新しい制約の関係を示す。

表 1 各問題と重要度、新しい制約の関係

|       | 絶対制約<br>を重要視 | 考慮制約<br>を重要視 | 絶対制約と考慮<br>制約を同等視 | 休みの間隔の制約<br>(N1) | 同じ日の制約<br>(N2) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|------------------|----------------|
| B-1   | ○            |              |                   | ○                |                |
| B-2   |              | ○            |                   | ○                |                |
| B-3.1 |              |              | ○                 | ○                |                |
| B-3.2 |              |              | ○                 |                  | ○              |
| B-3.3 |              |              | ○                 | ○                | ○              |
| C-3.3 |              |              | ○                 | ○                | ○              |

## 4. 実験結果と考察

各実験問題について被験者に、修正作業における感想・受けた印象に関するアンケートを実施した。表 2 にアンケート結果の集計を示す。

アンケート項目には、「終了判断理由」、「制約違反の伝播頻度」、「修正容易度」、「修正状況」があり、被験者はそれぞれの項目についてあてはまるものを選択する。アンケート項目における表の数字は答えた人数を示す。

終了判断理由では、「公平と判断」、「これ以上よくならないと判断」、「いきづまり」から選択する。「これ以上よくならないと判断」とは、ある程度公平で実行可能な勤務スケジュールにはなったが、これ以上はよくならないと判断した場合に当てはまる。一方「いきづまり」とは、制約違反がまだたくさんあるにも関わらず、実行可能である程度公平なスケジュールにすることが不可能であると判断した場合に当てはまる。

制約違反の伝播頻度では、どの制約が制約違反の伝播を起こしやすかったかを答える。ここで制約違反の伝播とは、ある制約違反を修正した際に、異なる制約が違反すること

を指す。

修正容易度では、修正作業が少なく、1つ1つの修正も簡単であった場合「1.とても簡単」、修正部分が多いが、1つ1つの修正が簡単であった場合「2.簡単、修正多い」、修正部分は少ないが、1つ1つの修正が難しかった場合「3.修正少ない、難しい」、修正部分も多く、1つ1つの修正も難しかった場合「4.修正多い、難しい」を選択する。

修正状況では、Aは「最初から最後まで作業がスムーズであった」、Bは「最初は作業がいきづまっていたが、最後の方はスムーズであった」、Cは「最初は作業がスムーズであったが、最後の方はいきづまってしまった」、Dは「最初から最後まで作業はいきづまっていた」を示す。

「12AB」は修正容易度で1または2と回答した被験者が、修正状況でAまたBと回答した人数を示す。一方、「34CD」は修正容易度で3または4と回答した被験者が、修正状況でCまたDと回答した人数を示す。

表2 実験結果の集計

|       | 1946 | 3400 |
|-------|------|------|
| B-1   | 37.6 | 4    |
| B-2   | 30.9 | 5    |
| B-3.1 | 29.6 | 3    |
| B-3.2 | 24.6 | 4    |
| B-3.3 | 27.3 | 5    |
| C-3.3 | 28.7 | 4    |

#### ①B-1,B-2,B-3.1の比較

B-2, B-3.1がB-1よりも平均作業時間が2-3割、7-8分短かった。又、B-1, B-2に関しては、被験者が修正を終了した際の理由として、「いきづまり」と回答した人数が5人に対し、B-3.1は1人であった。これは、3つの問題の中で、B-3.1つまり絶対制約と考慮制約が少しずつ違反されて、勤務スケジュールが比較的容易に修正でき、修正後の解についても納得できる解までたどり着いたことを意味すると考えられる。つまり、違反ペナルティはバランスが取れている方が良いと考えられる。

#### ②B-3.1,B-3.2,B-3.3の比較

B-3.2,B-3.3はB-3.1と同じく、終了判断理由で「いきづまり」と回答した人数が1人であったこと、そして平均時間もB-3.1よりも短いことから、B-1, B-2よりも修正しやすい勤務スケジュールであると考えられる。またB-3.1,B-3.2を比較すると、平均時間が約5分B-3.2の方が短く、またほとんどの被験者が(N1)よりも(N2)が考慮しやすいという答えたことから、(N1)よりも(N2)の方が修正時に追加しやすい制約であると考えられる。

#### ③C-3.3について

C-3.3は終了判断理由が「いきづまり」と回答した人数が4人でB-1,B-2と同様に多く、修正しやすい勤務スケジュールとはいえないと考えられる。C-3.3ではB-3.3よりも修正しにくく、問題の構造に、難しさの要因があると考えられる。

#### ④まとめ

B-1,B-2,C-3.3とB-3.1,B-3.2,B-3.3の間には明らかな差が生じた。平均時間、終了判断理由の差は既に述べたが、制約違反の伝播がなしと回答した人数がB-1,B-2,C-3.3に比べ、B-3.1,B-3.2,B-3.3の方が多かった。また、「12AB」の人数も、B-1,B-2,C-3.3は1~2人に対して、B-3.1,B-3.2,B-3.3は5人であった。反対に、「34CD」の人数は、B-1,B-2,C-3.3は6~9人に対して、B-3.1,B-3.2,B-3.3は4人であった。このことから修正しやすい勤務スケジュールの存在を確認できた。また、制約違反の伝播が少ないこと、修正作業の最後の段階まで作業がスムーズであることが修正しやすさにつながったと考えられる。従って修正しやすい解とは、制約違反の伝播を少ない解、1つ1つの修正作業が容易で、最後まで作業がスムーズで自由度がある解であると考えられる。

## 5. おわりに

勤務スケジュール作成の際、修正しやすさという新しい評価基準を導入した。又、ホテルの問題について、最適化手法を用いて解いたいくつかのスケジュールに対し、被験者が修正作業を行い、その結果を分析することで修正しやすい解とはどのようなものであるかの調査を行なった。

結果、絶対制約と考慮制約を等価なものとして扱って得られた解、制約違反の伝播を少ない解、1つ1つの修正作業が容易で、最後まで自由度がある解が修正しやすい解と考えられることが分かった。

修正しやすい解についての調査の継続、調査結果を考慮したモデル、解法の研究が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 池上 敦子, " ナース・スケジューリング調査・モデル化・アルゴリズム ", 統計数理第 53 巻第 2 号, P231-P260, 2005.
- [2] 茂木 俊秀, " 問題エンジンとしてのメタヒューリスティクス・アルゴリズム ", 第 19 回 RAMP シンポジウム論文集, P117-130, 2007.