

A-008

シフトスケジューリング問題に対する、日付けに関する制約条件を考慮した disruption and repair 法の拡張
Extension of disruption and repair method considering date constraints for shift scheduling problems鈴木 絢香[‡] 大槻 知史[‡] 山口 大輔[‡]

Suzuki Ayaka Otsuki Tomoshi Yamaguchi Daisuke

1 はじめに

シフトスケジューリング問題の解法である disruption and repair 法 [1] を発展させたヒューリスティック解法を提案する。シフトスケジューリング問題とは、各日づけ各スタッフに対して一つのシフトまたは休日割り当ての計画を立てる問題である。先行研究の disruption and repair 法はシフト計画のうち一部のスタッフのみを選択して再計画を繰り返す大規模近傍探索法で、スタッフ選択の基準として各スタッフに関する制約違反数を用いている。本提案ではその基準に加えて各日づけに関する制約違反の改善度を各スタッフに紐づいた値として定義し用いる方法を提案する。また初期解の生成方法として、heuristic ordering 法 [1] に加え、各日づけに関する制約違反が改善するシフトに一部変換する方法を提案する。ベンチマーク問題 [2] で評価を行った結果、disruption and repair 法 [1] に比べて 12% から 53% 評価値が改善した。

2 問題設定

ここではナーススケジューリングベンチマーク問題 [3], [2] をモチーフとした。問題は制約式と目的関数からなるが、それらを横の制約条件と縦の制約条件に配分して評価に用いた。例を図 1 に示す。横の制約条件とはスタッフ毎に定義できる制約条件で、例えば勤務時間の上下限や翌日の禁止シフトなどを定める条件である。縦の制約条件とは日づけ毎に定義できる制約条件で、例えば各日づけにおけるシフトの割り当てカバー数を定める条件である。本稿では、横の制約条件の制約違反数と縦の制約条件の制約違反数との重み付き和を評価に用いた。

		日づけ(休日, 平日区分)						
		1(月)	2(火)	3(水)	4(木)	5(金)	6(土)	7(日)
スタッフの種類	スタッフa	休	シフトE	シフトD	シフトD	シフトE	シフトE	シフトN
	スタッフb	シフトD	休	休	休	シフトD	シフトD	休
	スタッフc	シフトE	休	シフトD	シフトE	シフトN	休	シフトD
	スタッフd	シフトN	休	シフトE	休	シフトD	シフトE	休
	スタッフe	休	シフトE	シフトN	シフトD	休	シフトN	休
	スタッフf	休	シフトD	シフトE	休	シフトD	休	休
	スタッフg	シフトD	シフトN	休	シフトN	休	シフトD	シフトD

縦の制約条件(日づけの制約条件)

- ・ 4日において、シフトNの望ましい数は2個
- ・ 平日(1日~5日)において、シフトDの望ましい個数はn個
- ・ 土日(6日, 7日)において、シフトEの望ましい個数はm個
- ・ ...

横の制約条件(スタッフの制約条件)

- ・ スタッフcの1週間の勤務時間は、k時間以上
- ・ 「シフトN」の後は「休」とする
- ・ ...

図 1: 横の制約と縦の制約の例

3 提案手法

本稿では disruption and repair 法 [1] におけるスタッフの選び方の基準を拡張した手法 HVTRand を提案する。disruption and repair 法は、初期解をつくり局所探索法を実行後、何人かのスタッフを選び、選

択したスタッフに対してのみ初期化による再割り当てと近傍探索を行う手法である。選択するスタッフの基準として、[1] では横の制約違反数を用いているが、それに加えて本稿では縦の制約違反数の大きさも基準とする方法を提案する。縦の制約違反数は日づけに紐づく値であるため直接スタッフ選択に用いることはできないが、本稿では縦の制約違反数から、縦の制約違反数をより改善させようとするスタッフを数値化した各スタッフに紐づく縦制約の改善度を定義し評価に用いた。

縦制約の改善度は、シフトの増減が可能であるスタッフを優先的に選ぶための値である。すなわちある日づけ d で、あるシフト t が望ましい数よりも不足している場合、日づけ d でシフト t を持たずかつそのシフトの資格をもつスタッフに重みづけをするようにする。一方シフト t が超過している場合、シフト t をすでに持つスタッフに重みづけする。スタッフ毎に、この重みを計画日数全日で足し合わせた値を縦の制約条件の改善度とした。

初期解の生成方法は、[1] では計画日数全日に対して、定義したシフトの難易度に従って再割り当てする方法であったが、本稿でそのように計画日数全てを変更する初期化に加え計画日数のうち一部のみ変更する初期化を組み合わせる方法をとる。計画日数のうち一部のみ変更する初期化は、計画日数のうち連続する7日のみをシフトの難易度に従って再割り当てする方法と、各シフトについて、縦の制約違反が改善しそうな日づけとスタッフの組からランダムに選択して、そのシフトの割り当てを変換する方法を用いる。

アルゴリズムの概要をアルゴリズム 1, 2, 3 に示す。実行時間の前後でスタッフの選択方法を分け、前半では評価値に基づくスタッフ選択、後半ではランダムなスタッフ選択とし、探索の集中化と多様化のバランスをとる。評価値に基づくスタッフ選択では、横の制約違反数と縦制約の改善度の他に、タブーリストを用いて過去に評価値が改善しなかったスタッフの組を何度も選択をしないようにすることとした。また、[1] のアルゴリズムの停止条件を補足し、ある人数からなるスタッフの組をすべて選択して改善解が得られなくとも、設定した計算時間まで再度選択して初期解生成と局所探索を実行し続ける方法とした。

4 評価結果

評価結果を表 1 に示す。提案手法 HVTRand を 10 分実行した結果 (表中「HVTRand10min」と記載) と 60 分実行した結果 (表中「HVTRand60min」と記載) を比較すると、規模が小さいインスタンスでは減少はわずかだが、計画日数 6 週間のインスタンスでより減少することがわかった。また、先行研究 [1](表中「[1]の追試」と記載) と提案手法 HVTRand を 10 分実行した結果とを比較すると、10% から 38% 減少し、60 分実行した結果と比較すると 12% から 53% 減少した。また、ヒューリスティック解法のうち良い結果が得られている Ejection Chain 法 (表中「Ejection Chain60min[2]」) と記載) と提案手法 HVTRand を 60 分実行した結果とを比較すると計画日数 2 週間と 4 週間のインスタンスでは Ejection Chain 法に劣るが、計画日数 6 週間から 12 週間では評価値が 1% から 15% 減少した。

[‡] 株式会社東芝 Toshiba Corporation

Algorithm 1 HVTRand

```

1: 初期解  $x$  を生成する
2:  $x$  に対して局所探索法を実行し, 解  $x'$  を得る
3: repeat
4:   if ある時間未満 then
5:     解  $x'$  に対して, アルゴリズム 2 で評価値に基づくスタッフ選
       択と再計画を実行し, 解  $x''$  を得る
6:   end if
7:   if ある時間以上 then
8:     解  $x'$  に対して, ランダムに  $k$  人のスタッフを選択してアルゴ
       リズム 3 の初期化と再割り当てを実行し, 解  $x''$  を得る
9:   end if
10:  if  $f(x'') < f(x')$  then
11:     $x' \leftarrow x''$ 
12:  end if
13: until 設定した計算時間
14: return  $x'$ 

```

Algorithm 2 評価値に基づくスタッフ選択と再計画

Input: 解 x , 再割り当てするスタッフの人数 k , タブーリスト TL

```

1: 全スタッフの集合  $I$  のうち  $k$  人からなるスタッフの集合  $S$  を構成
   する. 取りうる  $k$  人の組み合わせは  $\binom{I}{k}$  通りあるが横の制約違反
   数または縦制約の改善度に関して選んだ  $k$  人の和をとったものが大
   きい順に  $S_0, S_1, \dots, S_{\binom{I}{k}}$  とする.
2: for  $k$  人からなるスタッフの集合  $S \in S_0, S_1, \dots, S_{\binom{I}{k}}$  よりイン
   デックスが小さい集合から順に選択 do
3:   if  $S$  がタブーリスト  $TL$  に含まれていない then
4:     解  $x$ , スタッフの集合  $S$  に対して, アルゴリズム 3 の初期化
       と再割り当てを実行し, 暫定解  $x'$  を得る
5:     if  $f(x') < f(x)$  then
6:        $S$  の要素を含む集合をタブーリスト  $TL$  から削除する
7:        $S$  をタブーリスト  $TL$  に含める
8:       return  $x'$ 
9:     end if
10:     $S$  をタブーリスト  $TL$  に含める
11:   end if
12: end for
13: return  $x'$ 

```

Algorithm 3 初期化と再割り当て

Input: 解 x , スタッフの集合 S

```

1: 解  $x$  のスタッフの集合  $S$  に対して, 初期解  $x'$  を生成する
2: 解  $x'$  のスタッフの集合  $S$  に対して, 局所探索法を実行して解  $x''$ 
   を得る
3: return  $x''$ 

```

表 1. 評価結果. Instance 番号右横の括弧内は, 左から順に計画日数 (週間), スタッフ数 (人), シフト数 (種類) を表す. HVTRand10min とは計算時間 10 分で HVTRand を実行し 100 個のシード値で許容解が得られたものの評価値の平均. HVTRand60min とはランダムに選んだシード値 1 つ用いて計算時間 60 分で HVTRand を実行した評価値. [1] の追試とは [1] のスタッフ選択方法と初期化の方法で追試したものの Ejection Chain60min[2] とは, Ejection Chain 法 60 分実行の結果を [2] より引用. 結果は HVTRand で許容解が得られたインスタンスのみ表示している.

Instance	[1]の追試	HVTRand 10min	HVTRand 60min	EjectionChain 60min[2]
1_(2,8,1)	694	607	607	607
2_(2,14,2)	1244	1056	1020	837
3_(2,20,3)	1506	1229	1212	1003
4_(4,10,2)	2098	1799	1723	1718
5_(4,16,2)	1995	1586	1450	1358
6_(4,18,3)	3068	2576	2262	2258
7_(4,20,3)	2095	1639	1490	1269
8_(4,30,4)	3691	2721	2653	2260
9_(4,36,4)	1346	831	818	463
10_(4,40,5)	6106	5414	4811	4797
11_(4,50,6)	4642	4174	3600	3661
12_(4,60,10)	9831	6867	6248	5211
14_(6,32,4)	3380	2181	1561	1847
15_(6,45,6)	11071	7550	5816	5935
16_(8,20,3)	6561	4207	3968	4048
17_(8,32,4)	10013	7497	6941	7835
18_(12,22,3)	-	6633	6156	6404
19_(12,40,5)	19045	7107	5895	5531

5 おわりに

シフトスケジューリング問題に対するヒューリスティック解法として, disruption and repair 法におけるスタッフの選択基準を工夫し, スタッフに関する制約違反数だけでなく日づけに関する制約違反の改善度を各スタッフに紐づいた値として定義し用いる方法を提案した. ベンチマーク問題を用いて評価した結果, disruption and repair 法と比較して評価値は 12% から 53% 減少した. またヒューリスティック解法のうち良い結果が得られている Ejection Chain 法と比較して計画日数 6 週間から 12 週間のインスタンスで 1% から 15% 減少した.

参考文献

- [1] Edmund K. Burke, Timothy Curtois, Gerhard Post, Rong Qu, and Bart Veltman. A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 188, No. 2, pp. 330–341, 2008.
- [2] Tim Curtois and Rong Qu. Computational results on new staff scheduling benchmark instances. *tech. report*, 2014.
- [3] OAKRIDGE TECHNICAL ENTERPRISES CORP (ORTEC). Nurse rostering benchmark instances. <http://www.schedulingbenchmarks.org/nrp/>.