ISSN 2186-5647
－日本大学生産工学部第48回学術講演会講演概要（2015-12-5）－
2-13

女性が輝く社会の実現に向けたシフト管理における一考察

日大生産工(非常勤)　○村山要司　　日大生産工　鈴木邦成　　日大生産工　豊谷純
日大生産工　若林敬造　　日大生産工(非常勤)　渡邊昭廣

1　はじめに

女性が輝く社会が望まれているが,家事,子育てをしながらパートで働く女性には勤務において勤務時間帯,総勤務時間など様々な制限がある。本研究は,そのような制限を考慮したシフト勤務について,組合せ最適化問題として定式化し,シフトスケジューリング問題を解くものである。

シフトスケジューリングの目的は,質の高いサービスを提供しながら,かつスタッフ一人一人が無理なく快適に働くことのできる勤務表を作成することである。中でも,ナーススケジューリング問題は,シフトスケジューリング問題の代表的な問題として,また,組み合わせ最適化問題の中の魅力的な問題として,様々な研究が行われてきた。実問題がモデル化され,ある程度複雑な条件でも良い解が求められる解法が提案されている。[1) 2)] しかし,パートタイムのスタッフが中心となる現場では,フルタイムで働くスタッフのシフトの考え方にはない特徴があり,そのまま適用することはできない。

本研究では,パートの女性インストラクターがスタッフの中心である小規模なパソコン教室が抱える問題を想定し,モデル化を行い,厳密解を得た。

2　対象問題の概要

対象としたパソコン教室はスタッフが6名の小規模な職場である。看護師の職場のような夜勤は無い。2つの店舗（教室）があり,うち2名はそれぞれの専属であるが,残りの4名は2つの教室A,Bのうち,どちらかに出勤する。4名はどちらかに偏った勤務にならないようにしたい。時間帯は,昼休みを挟んで,前半と後半に分かれ,前半のみの勤務,後半のみの勤務,終日の勤務の3種類のパターンがある。昼休みの時間が教室によって異なるため,前半はBの教室に出勤し,後半はAの教室に出勤するといった勤務も可能である。しかし,逆の勤務は出来ない。スケジュールの対象期間は,1ヶ月単位であり,スタッフ6名のうち,パートタイムの4名は1ヶ月の総労働時間に制限がある。教室は,日曜・祭日は休みとなり,土曜は前半のみである。B教室は月曜も休みとなる。A教室は月に1度,平日を休みにする。その日はシフト作成前に決定する。また,この日は出勤できない,この時間帯は不可など,スタッフの希望は守らなくてはならない。前半と後半では,スタッフの作業量に差があり,前半を手厚く2名体制とする日を週3回は設けたい。スタッフは表1の通り,スキルが十分なインストラクター経験3年以上のベテランが4名,経験半年未満が2名,うち1名は新人である。前半はスキルを持ったスタッフが必ず1人以上は勤務する。新人は1人では勤務しない。

表1 スタッフ表

No.	経験	パート制限	教室制限
1	3年以上		
2	3年以上		
3	3年以上	あり	A教室専属
4	3年以上	あり	B教室専属
5	半年未満	あり	
6	新人	あり	

3　拘束条件

ベンチマークサイト[3)]に掲載されているナーススケジューリング問題のベンチマークIkegami-2Shiftをベースに本問題に合った制約を考えた。ベンチマークの制約は,1ヶ月をスケジュール期間とし,日勤,夜勤などの各シフトに適した人数とスキルレベルの看護師を割り当てるとともに,看護師の労働負荷を考慮したものである。

本問題の勤務パターンは,前半,後半,終日の3種類であるが,終日については人数を規定する必要はない。終日は,前半,後半を両方とも勤務した結果であるので,終日を勤務パターンから外す。また,前半,後半は,日勤,夜勤などのいずれかしか選択できない勤務とは異なるため,ベンチマークのシフトの定義とは合わない。そこで,これらの勤務パターンをシフトとして取り扱うのではなく,1日という単位を分割したものとして考えることとする。本問題では2つに分ければ十分であるが,この考えを推し進めて1日を細かく分ければ,1時間毎のきめ細かい配置も対応が可能であ

A Consideration in Shift Management for the Society in which Women Shine.
Yoji MURAYAMA, Kuninori SUZUKI, Jun TOYOTANI
Keizou WAKABAYASHI and Akihiro WATANABE

る。本問題では,店舗（教室）が複数あり,日によって勤務場所が異なる。必要なスタッフの人数やスキルレベルは教室毎に決定する必要がある。ベンチマークでは勤務場所が1つであるので,こうした勤務は考慮されていない。しかし,各シフトを各教室に置き換えれば,勤務場所に関わる条件について表現することが可能である。

また,労働負荷について,本問題では,スタッフの勤務時間帯,総勤務時間に制限があり,ベンチマークで考慮している健康への悪影響を及ぼすような連続勤務などにはなり難い。その代わり,スタッフの事情による個別の勤務制限や出勤ペースなどは十分に考慮する必要がある。

本問題では,拘束条件を以下のように定義した。

(a) 各日，各時間帯, 各グループ，各勤務シフト（勤務場所）の最小人数・最大人数を守る
(b) スタッフが最大連続日数を超えて連続勤務することを禁止する
(c) 勤務と勤務の間隔は,勤務シフト（勤務場所）毎に最大間隔を超えない
(d) 禁止勤務パターンを設け,それに違反しない
(e) 月あたりの出勤回数は,各時間帯，各スタッフ，勤務シフト（勤務場所）毎の最小回数・最大回数の範囲内
(f) 月あたりの土曜日に休む回数は,各スタッフの土休暇の最小日数・最大日数の範囲内
(g) 各スタッフの希望勤務を考慮する

このうち,(a)は,「シフト拘束条件」といい,サービスレベルを満足するための各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件である。(a)では,グループによって,全ての日の全ての時間帯について各シフトに必要なスタッフの人数の下限と上限を設定する。本問題では,シフト＝勤務場所（教室）であり,教室毎に人数が決定する。グループは,ベテランを1人以上配置する,経験の浅い者同士を組ませない,などの条件を実現するためのものであり,スタッフは各グループに所属する。このグループの使い方によっては,相性を考慮した組合せも表現できる。今回は用いていないが,相性の良くない2人,もしくは数人でグループを設定し,そのグループからの人数の上限を1とすることで,組ませないことが可能となる。1人のスタッフは複数のグループに所属可能なので,このことによって他グループを組み直す必要はない。また,下限,上限をすべて0にすることで,休日を表現する。

(b), (c), (d), (e), (f), (g)は「スタッフ拘束条件」といい,各スタッフの労働負荷,希望に関わる条件である。(b)は,スタッフの連続勤務についての条件であり,連続勤務回数の上限を設定する。本来,連続勤務による健康への悪影響などを避けるための労働条件であるが,本問題では,勤務が一時期に集中するなどの偏りを避けるために利用する。(c)は,スタッフの勤務の間隔を,上限によって制限するものである。本問題では,教室が2カ所あるため,専属のスタッフを除いて,勤務が一方の教室に集中しないようにする。(d)は,本来,夜勤のあとに日勤が来るなどの勤務パターンを禁止するものである。本問題では,そのような勤務パターンは存在しない。しかし,前半は,A教室に出勤し,後半は,B教室に出勤することは不可能なので,それを表現するために使用する。本問題では必要としないが,時間帯を細かく設定する職場では,一日の勤務時間の制限や,一度退勤してからの再出勤を禁止するなどが可能である。(e)は,各スタッフが,どれだけ出勤するかをシフト毎に規定するものである。本問題では,勤務シフトを勤務場所に置き換えて,各スタッフがそれぞれの教室にどれだけ出勤するか,下限と上限を設定する。出勤のペースや総労働時間の制限に関わる重要な条件である。(f)は,本来,土日も出勤があるような現場で,土日を両日とも休む回数を下限と上限で制限するものである。本問題では,日曜は休みであり,休日出勤は存在しないが,土曜にどの程度出勤が可能かを設定するために用いる。(g)は,各スタッフの希望を聞き,特定の日の勤務の割り当て,あるいは出勤できない日を休みにするためのものである。「この曜日の後半の勤務は不可」などのスタッフの事情による個別の勤務制限も表現できる。

上記のすべての条件を満たす勤務表が理想ではあるが,(e)でのスタッフの勤務回数や(g)でのスタッフの希望勤務によっては,(c)の勤務間隔の条件を実現できないことがある。そこで,(c)を緩和可能な制約とし,(c)の条件に違反するペナルティの和を最小化することを目的関数とした。

4　定式化

シフトスケジューリング問題では,解法として,GAやTS, SAといったヒューリスティックスによる近似解法が用いられることが多い。しかし,シフトスケジューリングのような公平性を重視しなければならない問題の場合,解が最適であることが非常に重要になるため,厳密解であることの意味は大きい。本問題では,混合整数線形計画問題（Mixed Integer Linear Programming：MILP）として定式化し,厳密解を求める。

$$\text{minimize} \quad \sum_{d\in D}\sum_{n\in N}\sum_{b\in B} z_{dnb} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{s\in S} x_{dhns} = 1, d\in D, h\in H, n\in N \tag{2}$$

$$\sum_{i=0}^{c3} y_{(d-i)n} \le c3, d\in D, n\in Gp \tag{3}$$

$$y_{dn} - \sum_{h\in H}\sum_{b\in B} x_{dhnb} \le 0, d\in D, n\in N \tag{4}$$

$$Ty_{dn} - \sum_{h\in H}\sum_{b\in B} x_{dhnb} \ge 0, d\in D, n\in N \tag{5}$$

$$\sum_{i=0}^{c4}\sum_{h\in H} x_{(d-i)hnb} + z_{dnb} \geq 1,$$
$$d\in D, n\in N, b\in B \quad (6)$$
$$\sum_{i=0}^{k} x_{d(i+1)np_i} \leq k, d\in D, n\in N \quad (7)$$
$$\sum_{n\in N_g} x_{dhnb} \geq c1_{dhgb},$$
$$d\in D, h\in H, g\in G, b\in B \quad (8)$$
$$\sum_{n\in N_g} x_{dhnb} \leq c2_{dhgb},$$
$$d\in D\ \ h\in H, g\in G, b\in B \quad (9)$$
$$\sum_{d\in D} x_{dhnb} \geq c5_{hnb}, h\in H, n\in N, b\in B \quad (10)$$
$$\sum_{d\in D} x_{dhnb} \leq c6_{hnb}, h\in H, n\in N, b\in B \quad (11)$$
$$\sum_{d\in Hs} x_{dhn休} \geq c7_n, n\in N \quad (12)$$
$$\sum_{d\in Hs} x_{dhn休} \leq c8_n, n\in N \quad (13)$$
$$L^{+}_{dhnb} - x_{dhns} \leq 0, d\in D, h\in H, n\in N, s\in S \quad (14)$$
$$x_{dhns} \in \{0,1\}, d\in D, h\in H, n\in N, s\in S \quad (15)$$
$$y_{dn} \in \{0,1\}, d\in D, n\in N \quad (16)$$
$$z_{dgb} \in \{0,1\}, d\in D, g\in G, b\in B \quad (17)$$

図1 MILPによる定式化

変数z_{dgb}は,拘束条件(c)に違反するペナルティであり,d日のスタッフ nの勤務シフト bで最大間隔を超えてしまう場合は 1 となる。z_{dgb}は,(17)式で定義されている。目的関数(1)式はこのz_{dgb}の和を最小化する。ここで,Dは対象期間の日の集合,Nはスタッフの集合,Bはシフト(勤務場所)の集合である。(2)式は各スタッフについて各日 d,各時間帯 hの勤務で必ず一つの休みを含むシフト sに割り当てられることを表す。変数x_{dhns}は,割り当てられた勤務がsの場合は1,そうでない場合は 0 となる 2 値整数変数で,(16)式で定義されている。ここで,Hは時間帯の集合,SはBに休みを加えたシフトの集合である。(3)式は拘束条件(b)を表す制約であり,出勤が最大連続回数$c3$回を超えて連続しないことを示す。Gpは全スタッフのうちパートタイムのスタッフの集合である。(4),(5)式はスタッフがn日に出勤するかどうかを表している。変数y_{dn}は, 1 なら出勤,0 ならば休みの 2 値整数変数であり,(16) 式で定義されている。(4)式で,y_{dn}が 1 ならばd日にスタッフ nが時間帯h,シフト（勤務場所）bによらず出勤していることを制約し,逆に(5)式で,出勤ならばy_{dn}を 1 としている。ここで定数Tは 1 日の時間帯の数である。(6)式は拘束条件(c)についての勤務シフト（勤務場所）b毎の最大間隔 $c4$に関する制約であり,$c4$日の間に必ず 1 回は出勤していることを表している。(7)式は,拘束条件(d)について表している。d日の 0~kの時間帯の中において勤務禁止パターン pと一致するシフトが出現しないようにする制約である。(8) (9)式は,拘束条件(a)について, d日におけるグループ gの勤務シフト bに対する最小人数$c1_{dhgb}$に関する制約および最大人数$c2_{dhgb}$に関する制約を表している。

(10) (11)式は,拘束条件(e)について,対象期間に関する各スタッフのシフト bの勤務数を最小回数$c5_{hnb}$,最大回数$c6_{hnb}$で制約している。(12)(13)式は,拘束条件(f)についての制約である。各スタッフの土曜日に休む回数を最小日数$c7_n$・最大日数$c8_n$の範囲内としている。ここでHsは,対象期間の土曜日の集合である。(14)式は,拘束条件(g)に関する制約である。希望勤務L^+を使って特定の日dの各スタッフ nのシフトsを制約する。

5 数値実験

MILPを解くための汎用的なソルバーは商用,非商用を含め多数のパッケージが存在する。実験では,非商用（GNU GPL ライセンス）のGLPK[4]を用いた。対象期間は2015年10月とし,必要人数を表2のように設定した。

表2 必要人数
（上段:最小人数,下段:最大人数）

	全て	3年以上	半年未満	新人
日曜・祭日(10/12)	0 0	0 0	0 0	0 0
土曜 午後	0 0	0 0	0 0	0 0
B教室 月曜	0 0	0 0	0 0	0 0
A教室月 1 の休み(10/23)	0 0	0 0	0 0	0 0
月・土曜 午前	1 1	1 1	0 0	0 0
A教室 10/8,10/15, 10/29の午前	1 1	1 1	0 0	0 0
B教室 10/15,10/22 の午前	1 1	1 1	0 0	0 0
上記を除く 午前	2 2	1 2	0 1	0 1
上記を除く 午後	1 1	0 1	0 1	0 0

最大連続日数,最大間隔はそれぞれ3日,7日とした。午前・A教室⇒午後・B教室の勤務を禁止パターンとした。各スタッフの月あたりの出勤回数は,表3のように設定し,最小・最大回数は同じ値を使用した。月あたりの土曜日に休む回数は,表4のように設定し,最小・最大日数は同じ値とした。各スタッフの希望勤務は,表5のように設定した。

得られた結果を表6に示す。対象としたパソコン教室の拘束条件を満たした厳密解を得ることができた。ペナルティの総和は8であり,これは,月,土しか勤務できないスタッフがいたためである。

当該スタッフの希望勤務によってB教室でペナルティが生じ,さらに12日が休日であったためにA教室でペナルティが発生した。

表3 月あたりの出勤回数

スタッフNo.	A教室午前	B教室午前	A教室午後	B教室午後
1	4	4	3	0
2	9	14	9	9
3	14	0	4	0
4	0	9	0	9
5	5	6	4	0
6	7	6	0	0

表4 土曜日に休む回数

スタッフNo.	日数
1	0
2	0
3	5
4	5
5	5
6	5

表5 希望勤務

スタッフNo.	日数
1	月:A教室,火~金:休,10/3午前:A教室,その他の土:B教室
2	火午後:A教室
3	土:休
4	水午後:休,金午後:休
5	
6	

6 まとめと今後の課題

本研究では,女性インストラクターがスタッフの中心である小規模なパソコン教室が抱える問題を対象に,パートタイムの勤務における勤務時間帯,総勤務時間などパートタイム勤務特有の制限を考慮したモデル化を行い,厳密解を得た。

今回の実験では,2015年10月のデータのみであるため,さらに複数のデータで検証を行う必要がある。そのとき,重要になるのが,各スタッフが,どれだけ出勤するかシフト毎に規定するデータである。出勤のペースや総労働時間の制限に関わる重要な条件であるため,慎重な作業が要求される。このような手間がかかり,かつミスが許されない作業は自動化が望ましい。対象期間の平日の数などから自動計算するなどの手法を検討する必要がある。

また,本研究のモデル化では,他のパートタイムのスタッフを中心とした職場でも適用可能だと思われる制約を考えた。他の職場のデータを用いた汎用的な展開が今後の課題として挙げられる。

表6 勤務表結果（A:A教室,B:B教室,−:休み）

									1		2		3	
	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1									−	−	−	−	A	−
2									B	A	B	B	B	−
3									A	−	A	A	−	−
4									−	B	−	−	−	−
5									A	−	B	−	−	−
6									B	−	A	−	−	−

	4		5		6		7		8		9		10	
	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	−	−	A	A	−	−	−	−	−	−	−	−	B	−
2	−	−	−	−	A	A	B	B	B	A	B	B	A	−
3	−	−	−	−	−	−	A	−	A	−	A	−	−	−
4	−	−	−	−	B	B	B	−	B	B	−	−	−	−
5	−	−	−	−	A	−	A	A	−	−	B	A	−	−
6	−	−	−	−	B	−	−	−	−	−	A	−	−	−

	11		12		13		14		15		16		17	
	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	B	−
2	−	−	−	−	A	A	B	B	A	A	B	B	A	−
3	−	−	−	−	A	−	A	A	−	−	A	−	−	−
4	−	−	−	−	B	B	−	−	B	B	−	−	−	−
5	−	−	−	−	−	−	B	−	−	−	B	A	−	−
6	−	−	−	−	B	−	A	−	−	−	A	−	−	−

	18		19		20		21		22		23		24	
	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	−	−	A	A	−	−	−	−	−	−	−	−	B	−
2	−	−	−	−	A	A	B	B	B	A	B	B	A	−
3	−	−	−	−	A	−	A	A	A	−	−	−	−	−
4	−	−	−	−	B	B	−	−	−	B	−	−	−	−
5	−	−	−	−	−	−	B	−	A	−	−	−	−	−
6	−	−	−	−	B	−	A	−	−	−	B	−	−	−

	25		26		27		28		29		30		31	
	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	−	−	A	A	−	−	−	−	−	−	−	−	B	−
2	−	−	−	−	A	A	B	B	B	A	B	B	A	−
3	−	−	−	−	−	−	A	−	A	−	A	A	−	−
4	−	−	−	−	B	B	B	−	B	B	−	−	−	−
5	−	−	−	−	B	−	−	A	−	−	A	−	−	−
6	−	−	−	−	A	−	A	−	−	−	B	−	−	−

「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, (2005) p.231-259.

2) 乾伸雄,池上敦子,“ナーススケジューリング問題における混合整数線形計画問題と充足可能性判定問題による厳密解法の比較”,オペレーションズ・リサーチ：経営の科学,55, (2010) p.706-712.

3) University of Nottingham, Shift Scheduling Benchmark Instances, http://www.cs.nott.ac.uk/~tec/NRP/

4) GNU Project, GLPK, http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html