

ナーススケジューリングの改善モデル

05001178 成蹊大学 *加藤尚瑛 KATOH Naoaki
05000348 成蹊大学 呉偉 WU Wei
01009840 成蹊大学 池上敦子 IKEGAMI Atsuko

1. はじめに

ナーススケジューリング問題 (NSP) は病棟ナースの勤務表を作成する問題であり, 看護の質を維持するために重要な問題である. NSP に対しては過去 20 年間, 数々の最適化アルゴリズムが提案されてきた. 現在では, 最適または最適に近いスケジュールを現実的な計算時間で求めることが可能である. しかしながら, 実際の病院では, 最適化アルゴリズムが実用化されていないことが多い. 現場で最適化技術が利用されにくい理由には, 暗黙的に抱えている目的や制約の存在があげられる. 例えば, シフトやシフト並びの好ましさを, 現場毎, ナース毎に異なる場合も多い. 現場で利用されるためには, それらを吸収しやすい柔軟な制約表現が必要である. 加えて, 新人ナースの教育やスケジュール期間内の勤務時間の合計, 週末の休みなど現実的に考慮すべき制約条件を盛り込む必要がある. 本発表では, これまで提案してきたモデルをベースに日本の多くの病院や介護施設にも適用できる柔軟な改善モデルを提案する.

2. ナーススケジューリング問題

NSP モデル [1] (元のモデル) は変数 x_{ids} を, ナース i の日 d にシフト s を割り当てるならば 1, そうでないならば 0 となる意思決定変数として利用している. 目的関数は, 各シフトの過不足人数にペナルティーを掛け合わせた合計値を最小化する. 制約条件としては, ナースが 1 日に勤務するシフトは高々 1 つであることに加え, 各シフトで働く合計人数の上下限, すでに確定しているシフトの割当確定と不可能シフトの禁止, 連続して行うシフト並び (同一シフトの連続日数の上下限, 同一シフトが連続しない場合の間隔日数の上下限, その他禁止されているシフト並び) を考慮していた.

3. 改善モデル

元のモデルに対し, 改善モデルでは好ましくないシフトやシフト並びを禁止するだけでなく, 好

ましいシフト並びを考慮できるようにし, それらの回数に上下限を与えるようにする. ナースの集合を I , 日の集合を D , シフトの集合を S とする. 個々のシフトの好ましさを評価

ナース i の日 d のシフト s について, 割り当たりに割り当てられない, もしくは, その逆の場合のペナルティー ($\beta_{ids}^{\text{on}}, \beta_{ids}^{\text{off}}$) の総和 (式 (1)) を元のモデルの目的関数に足し合わせた合計値を最小化する.

$$\sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \left(\beta_{ids}^{\text{off}} x_{ids} + \beta_{ids}^{\text{on}} (1 - x_{ids}) \right) \quad (1)$$

新人ナースと指導ナースの組合せ

ナース i に対し指導ナース i' の同時勤務を考慮するため式 (2) を導入する. I_{ids} はナース i が日 d にシフト s を行う場合の指導ナースの集合である.

$$x_{ids} \leq \sum_{i' \in I_{ids}} x_{i'ds}, \quad i \in I, d \in D, s \in S, I_{ids} \neq \emptyset \quad (2)$$

総勤務時間の上下限

各ナースの各シフトの勤務回数だけでなく合計勤務時間を考慮するため式 (4) を導入する. w_s はシフト s の 1 回分の勤務時間, $w_i^{\text{lb}}, w_i^{\text{ub}}$ はナース i のスケジュール期間内の勤務時間の下限と上限である.

$$w_i^{\text{lb}} \leq \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} w_s x_{ids} \leq w_i^{\text{ub}}, \quad i \in I \quad (3)$$

あるシフト並びが出現する回数

週末の休みなどシフト並びをコントロールするため式 (4)–(5) を導入する. Q_i はナース i のシフト並びの集合, D_{iq} はナース i にシフト並び q を割り当てる場合の候補日 (q の最後の日) の集合である. y_{idq} はナース i の日 d までにシフト並び q を割り当てるならば 1, そうでないならば 0 となる変数である. $g_{iq}^{\text{lb}}, g_{iq}^{\text{ub}}$ はナース i がシフト並び q を候補日集合 D_{iq} 内で行う回数の下限と上限である.

表 1: 比較計算実験結果

				定式化 1			定式化 2			Curtois & Qu			Curtois & Qu (Report)			Best Known	
	D	I	S	obj val	lb	time	obj val	lb	time	obj val	lb	time	obj val	lb	time	obj val	lb
Ins1	14	8	2	607		<u>0.1</u>	607		<u>0.1</u>	607		0.2	607		1.6		607
Ins2	14	14	3	828		0.4	828		<u>0.3</u>	828		2.4	828		5.2		828
Ins3	14	20	4	1001		1.1	1001		<u>0.7</u>	1001		9.4	1001		13.5		1001
Ins4	28	10	3	1716		2.2	1716		<u>1.5</u>	1716		79.1	1716		159.0		1716
Ins5	28	16	3	1143		15.6	1143		<u>14.6</u>	1143		149.1	1143		1520.2		1143
Ins6	28	18	4	1950		13.3	1950		<u>9.9</u>	1950		119.3	1950		441.0		1950
Ins7	28	20	4	1056		<u>40.5</u>	1056		58.4	1056		477.9	1056		2152.5		1056
Ins8	28	30	5	1301	1297	t.l.	1300	1298	t.l.	1317	1284	t.l.	1323	1281	t.l.		1300
Ins9	28	36	5	439	406	t.l.	439	406	t.l.	439	406	t.l.	439	247	t.l.		439
Ins10	28	40	6	4631		32.1	4631		<u>12.9</u>	4631		52.1	4631		224.2		4631
Ins11	28	50	7	3443		6.5	3443		<u>5.4</u>	3443		14.3	3443		109.9		3443
Ins12	28	60	11	4040		112.5	4040		<u>106.1</u>	4040		3373.0	4040		2303.8		4040
Ins13	28	120	19	1645	557	t.l.	1450	557	t.l.	1449	1344	t.l.	3109	1346	t.l.		1348
Ins14	42	32	5	1278		<u>189.7</u>	1278		686.2	1278		2942.8	1280	1277	t.l.		1278
Ins15	42	45	7	3856	3817	t.l.	3861	3816	t.l.	4864	3811	t.l.	4964	3806	t.l.		3834 3823
Ins16	56	20	4	3225		<u>110.0</u>	3225		144.9	3225	3217	t.l.	3233	3211	t.l.		3225
Ins17	56	32	5	5746		<u>139.5</u>	5746		184.9	5845	5735	t.l.	5851	5726	t.l.		5746
Ins18	84	22	4	4459		1489.8	4459		<u>946.3</u>	4468	4369	t.l.	4760	4351	t.l.		4459
Ins19	84	40	6	3153	3147	t.l.	3153	3146	t.l.	3361	3141	t.l.	5420	2945	t.l.		3149 3148
Ins20	26	50	7	4769		<u>2046.8</u>	4769		2183.2	4782	4758	t.l.	4943	4743	t.l.		4943 4743
Ins21	26	100	9	—	9889	t.l.	—	9884	t.l.	—	21116	t.l.	20868	—	t.l.		21159 20868
Ins22	52	50	11	—	9291	t.l.	—	0	t.l.	—	26195	t.l.	—	—	t.l.		33155 24064
Ins23	52	100	17	—	143	t.l.	—	143	t.l.	—	146	t.l.	—	—	t.l.		17428 2765
Ins24	52	150	33	—	1133	t.l.	—	1133	t.l.	—	1133	t.l.	—	—	t.l.		48777 —
Ikegami-3shift-DATA1	30	25	3	2		42.4	2		32.5	対象外			対象外				2

$$(t+1)y_{idq} \leq \sum_{h=0}^t ((2k_h - 1)x_{i,d-t+h,s_h} + 1 - s_h)$$

$$\leq y_{idq} + t, \quad i \in I,$$

$$q = ((s_0, k_0), (s_1, k_1), \dots, (s_t, k_t)) \in Q_i, \quad d \in D_{iq} \quad (4)$$

$$g_{iq}^{\text{lb}} \leq \sum_{d \in D_{iq}} y_{idq} \leq g_{iq}^{\text{ub}}, \quad i \in I, \quad q \in Q_i \quad (5)$$

制約式数の削減

元のモデル [1] では同一シフト s が連続しない場合の間隔日数の下限の制約を式 (6) で表している。

$$x_{i,d-t-1,s} - \sum_{h=1}^t x_{i,d-h,s} + x_{ids} \leq 1,$$

$$i \in I, d \in D, s \in S, t \in \{1, 2, \dots, d_s^{\text{lb}} - 1\} \quad (6)$$

式 (6) では問題例によって式の数が増えすぎてしまうため、式 (7) を用意した。

$$(d_s^{\text{lb}} - 1)(1 + x_{i,d-1,s} - x_{i,d,s}) \geq \sum_{k=2}^{d_s^{\text{lb}}} x_{i,d-k,s},$$

$$i \in I, s \in S, d \in \{1, \dots, n-2\} \quad (7)$$

4. 計算実験

スタッフスケジューリングのベンチマーク問題例 [2] に対して計算実験を行なった。表 1 は改善モデルと “Curtois & Qu” のモデル [2] を利用した

場合の比較実験の結果である。“定式化 1” は元の NSP モデルに制約式 (2)–(5) を加え目的関数に式 (1) を加えたもの、“定式化 2” は“定式化 1” の制約式 (6) を (7) に変更したものである。その右側に “Curtois & Qu” のモデルの結果 (同じ環境で解いた結果とレポートに示されていた結果 [2]) を示してある。“obj val” は目的関数値, “lb” は目的関数値が最適値でなかった場合の下界, “time” は計算時間 (秒) である。実験の制限時間を 1 時間とし、それを超えた場合は “t.l.” と表示する。下線は最速で最適解を求められたときの計算時間、太文字は 4 つの中で最良の解である。“—” は実行可能解を得られなかった場合を示す。利用した最適化ソルバーは Gurobi (バージョン 8.1.0) である。

5. おわりに

改善モデルは多くの問題例で最適解を求めることができた。今後は、最適解を複数求められるモデルの構築、解同士の関係性の定義、解空間の可視化が課題と考えている。

参考文献

- [1] Atsuko Ikegami and Akira Niwa. A subproblem-centric model and approach to the nurse scheduling problem. *Mathematical programming*, Vol. 97, pp. 517–541, 2003.
- [2] Tim Curtois and Rong Qu. Computational results on new staff scheduling benchmark instances. *tech. report*, 2014.