

スタッフ・スケジューリングにおける 周期的スケジュール作成と適用の課題

繁野 麻衣子, 池上 敦子

スタッフ・スケジューリングでは、限られた人材を適材適所で効率よく活用するために、各スタッフが「いつ」「どの」業務を行うのかを決定して勤務表を作成する方法を扱っている。一方で、手作業による勤務表作成が行えていても、周期的なスケジュールの作成や理想的なスケジュールの把握が望まれているケースもある。周期的なスケジュールは、先の予定がわかる、社員間で平等に業務に携われるといった利点がある。そこで、本稿では、周期性のあるスケジュールの作成と需要に合わせた調整方法について再考する。

キーワード：スタッフ・スケジューリング，勤務表作成，周期性，タクシー乗務員

1. スタッフ・スケジューリング

スタッフ・スケジューリングとは、各スタッフ（従業員）が「いつ」「どの」業務を行うのかを決定することであり、「勤務表作成」「勤務スケジュール」「シフトスケジュール」など、いくつもの呼び方がある。

オペレーションズ・リサーチの分野では 1950 年代の料金所スタッフに対するスケジューリングの論文 [1] が始まりとされ、さまざまな応用分野を対象として形を変えながら継続的に研究がなされている [2–4]。特に、看護師に対するナース・スケジューリング、公共交通スタッフに対するクルー・スケジューリングがよく知られている。Ernst et al. [2] のサーベイ論文では 700 以上の論文が参照されているなどスタッフ・スケジューリングに関する研究数は膨大である。このように非常に多数の研究があり、さらには、勤務表を作成する支援システムも数多く存在しているなか、勤務表を手作業により作成している現場が未だに多いことは、業務特有の条件やスタッフの特性を反映したモデルを作成しないとシステムとして使いづらいからであろう [5]。そこで、数理モデルの構築を容易にすることを目的として、勤務表作成のための条件を明確化し、スケジュール作成の構成要素を分類する試みもなされている [4, 6]。

オペレーションズ・リサーチを勉強した学生たちが、アルバイト先の勤務表作成に課題を見つけ解決に挑むことも多々ある。実際、インターネットで各大学の卒業論文などを検索するとファーストフード、テーマパーク、コンビニエンスストア、イベントスタッフなどを対象としたスタッフ・スケジューリングの研究が見つかる。整数計画問題に対するソルバーの性能が劇的に向上している昨今では、現場の条件を反映したモデルが作成できればある程度満足できる勤務表の作成が可能になっているので、これら学生たちの成果は興味深い。

スタッフ・スケジューリングでは、需要の変動やスタッフの勤務希望の有無から期間ごとに勤務表を作り込むケースと、いくつかの勤務パターンを定めてそれらを組み合わせたりパターンを周期的に用いてスケジュール作成を行うケースがある。ナース・スケジューリングのように、スタッフ数に余裕がなくシフトの決定が困難である場合は、さまざまな条件を満たすスケジュールを見つけることが難しく、勤務表を作り込むことが必要となる [7]。ナース・スケジューリングのような長時間体制の業務や定期的な休みのない業務、飲食店のような需要のばらつきが大きく非正規社員で対応する業務などでは、条件を満たすスケジュールを見つけることが難しく、勤務表を作り込むことが必要となる。一方で、需要の変動が周期的であり、スケジュール対象スタッフがあまり多くないなどのことから、手作業である程度の勤務表作成を実現できている現場では、現在の勤務表が本当によいものかどうかを判断したい、現場の条件に適した複数のスケジュールを準備してそれを周期的に使うことでスケジュール作成したい、という要望がある。

勤務スケジュールに周期性があると、スタッフは自

しげの まいこ
筑波大学システム情報系
〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
maiko@sk.tsukuba.ac.jp
いけがみ あつこ
成蹊大学理工学部
〒 180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1
atsuko@st.seikei.ac.jp

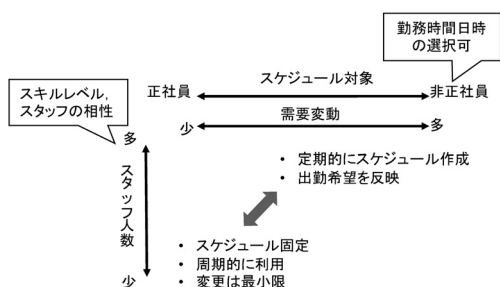


図1 周期的なスケジュールの位置づけ

身のスケジュールを把握しやすく、勤務シフトに合わせた生活リズムを作れ、先の予定が立てやすい。また、周期的なスケジュールを順にスタッフに割り付けることで、業務負担の平準化もできる。正社員を主とする勤務表作成の現場でスケジュール対象期間に大きな変動がない場合（図1）は、複数の周期的スケジュールを準備しておき、状況に応じてこれらを組み合わせることで勤務表を作成すれば勤務表作成の手間の軽減にもつながる。一方で、周期的なスケジュールだと勤務希望などへの柔軟性に欠ける、需要の変動に対応できないといった欠点もあり、実際に適用するときには調整を行う必要がある。

そこで、本稿では周期的なスケジュールに着目し、周期性のあるスケジュールをどのように作成するか、そして、実際に適用するときには調整をどのように行うかを実例を交えて紹介する。

2. 周期性のあるスケジュールの作成

周期的なスタッフ・スケジュールは、業務に周期性がある鉄道、航空などで用いられている。鉄道の乗務員スケジューリングでは、1日の運行ダイヤから1人の乗務員が担当できる乗車業務を組み合わせた「行路」を作成し、この行路を組み合わせることで1日の運行ダイヤを達成できるようにする。このためには、可能な行路を列挙し、集合被覆問題として1日の運行ダイヤをカバーできるような行路の組み合わせを見つける。そして、得られた行路を順に繰り返すことで、周期的なスケジュールとなる[8]。

周期的な勤務シフトの割当にも行路の考え方を適用できる。例として、休日に需要が集中するサービス業のスタッフ・スケジューリングを考えよう。シフトには「早番」「中番」「遅番」があり、休日と休日前の勤務人数が多く必要となる。需要がおおよそ一週間の中で変動するために、1週間ごとのスケジュールを繰り返すこととする。たとえば、10人のスタッフに対する

表1 シフトごとの勤務人数の例

	月	火	水	木	金	土	日
早番	2	2	2	2	2	4	4
中番	2	2	2	2	4	2	4
遅番	2	2	2	2	4	4	2

表2 勤務スケジュールの条件

スタッフ制約条件	シフト制約条件
【ハード制約】 ・1週間で1回以上休み ・遅番-早番の並び禁止 【ソフト条件】 ・同じシフトの連続 ・休みは多く ・遅番の連続は2回まで ・遅番-中番-遅番の並び禁止	【ハード制約】 ・各日シフトごとの人数 ・各日各グループから1人以上 ・各日早番あるいは前日遅番に各グループから1人以上

必要最低人数が表1のように与えられているとする。この必要最低人数を満たすように1週間の勤務パターンを複数作成し、それらを繰り返して勤務スケジュールを構成する。つまり、鉄道乗務員スケジューリングの「行路」が1週間の勤務パターンに対応する。対象スタッフ数の勤務パターンを組み合わせることになるが、この例のように対象スタッフ数が10人で、10個の勤務パターンを順に繰り返してスタッフに割り当てると、10週間ごとの周期になる。しかし、実際には周期の期間が1カ月を越すような長さとなることは、周期性の利点が活かされずに好ましくない。そこで、スタッフ数が多いときには、スタッフ制約条件などからスタッフをいくつかのグループに分けて、グループごとに勤務パターンを順に繰り返すなど周期が長くならない工夫が必要である。

ここでは、10人のスタッフが二つのグループA、Bに分かれており、各グループのスタッフ数が4人、6人であるとする。勤務スケジュールの条件は表2のように与えられているとする。勤務スケジュールの条件はスタッフ制約条件とシフト制約条件に分けることができる[7]。スタッフ制約条件はスタッフの勤務の並びに関する制約であり、休日の確保や連続勤務、担当業務の平準化などがあり、スタッフの労働環境を保証する。一方で、シフト制約条件は各日の担当スタッフ数やスタッフの組み合わせに関する制約であり、業務の質を確保する。ここでは、必ず満たさなければならないハードなスタッフ制約条件を満たす6512勤務パターンを生成し、スタッフ制約条件のなるべく満たすべきソフト条件は、生成した勤務パターンの評価値として反映

表3 グループごとの勤務パターン

	月	火	水	木	金	土	日
A1	遅	－	早	早	早	早	早
A2	遅	－	早	早	早	早	早
A3	中	－	中	中	中	遅	遅
A4	－	中	中	中	中	遅	遅
B1	中	中	－	遅	遅	中	中
B2	－	遅	遅	－	中	早	早
B3	早	早	－	－	遅	遅	中

表4 勤務パターンの繰り返しとスタッフへの割当の例

スタッフ	週日					
	1	2	3	4	5	...
a	A1	A2	A3	A4	A1	...
b	A4	A1	A2	A3	A4	...
c	A3	A4	A1	A2	A3	...
d	A2	A3	A4	A1	A2	...
e	B1	B2	B3	B1	B2	...
f	B3	B1	B2	B3	B1	...
g	B2	B3	B1	B2	B3	...
h	B1	B2	B3	B1	B2	...
i	B3	B1	B2	B3	B1	...
j	B2	B3	B1	B2	B3	...

させる。そして、シフト制約条件を守り評価値がなるべく大きくなるように、各グループが担当する勤務パターンを選択する。このとき、日曜と月曜の勤務の並びの制約も考慮しなければならないことに注意する。

さらに、6人のグループに対しては、三つの勤務パターンを選択し、それぞれの勤務パターンを2人ずつが担当するようにする。これを整数計画問題として定式化してソルバーで得られた勤務パターンが表3である。そして表4のように周期的に割り当てることで周期的なスケジュールが作成できる。このサイズであればソルバーで数秒で解が得られるので、条件の追加などを繰り返して、現場に合う勤務パターンを求め周期的なスケジュールを作成することができる。

実際に周期的なスケジュールを活用するときには、週ごとの需要やスタッフの都合に合わせた調整が必要となる。この調整については次節で述べる。

3. 周期性に合わせた勤務スケジュールの作成

次に、周期的なスケジュールを需要に合わせて修正して勤務スケジュールを作成することを考える。

周期的なスケジュールとしてタクシー乗務員の隔日勤務ダイヤを例とする。隔日勤務のタクシー乗務員は「出番」と呼ばれる朝7～9時ごろより深夜あるいは翌朝までの16時間程度の勤務をし、その翌日は「明番」

表5 隔日勤務ダイヤ

乗務員	隔日勤務ダイヤ				
a	出番	明番	出番	明番	公休
b	公休	出番	明番	出番	明番
c	明番	公休	出番	明番	出番
d	出番	明番	公休	出番	明番
e	明番	出番	明番	公休	出番

表6 隔日勤務ダイヤの担当車両割当

乗務員	担当車両割当				
a	1	－	1	－	－
b	－	1	－	1	－
c	－	－	2	－	1
d	2	－	－	2	－
e	－	2	－	－	2

と呼ばれ非番となる。隔日勤務ダイヤは表5のように、出番-明番-出番-明番-公休 のスケジュールを5人の乗務員に順に割り当てる。この隔日勤務ダイヤを用いることで、5人の乗務員に対して、常に2名が出番となっており、2台の車両を5人の乗務員に割り当てることになる。表6は、各乗務員の担当車両番号を表している。このように、乗務員a, b, cで1台、乗務員c, d, eで1台を割り当てることができ、1人が使用する車両は高々2台、かつ、1台の車両は3人で交代乗車となり、管理がしやすくなるという利点がある。さらに、乗務員の公平性も担保される。歩合制の乗務員にとっては、需要の多い曜日の勤務が有利となるが、この隔日勤務ダイヤを繰り返すことで、各曜日の乗務回数が平等になる。

隔日勤務ダイヤは乗務員数が十分である場合には、車両を効率よく運用でき、乗務員の公平性も担保されているために理想的なスケジュールとなる。しかし、乗務員が不足している場合には、曜日の需要の変動にかかわらずに車両が非稼働となる。そこで、これを解消するために隔日勤務ダイヤをもとに、需要の多い曜日の乗務員数を増やすことを考える。

たとえば、車両が8台の場合、乗務員が20人いれば隔日勤務ダイヤで8台すべてが稼働できる。ここで、乗務員が17人と仮定する。隔日勤務ダイヤを当てはめると、表7のように毎日の稼働台数が7台、かつ5日に1日は稼働台数が6台となる。表中の1～8の数字は担当車両番号を表す。空欄は明番もしくは公休である。

タクシーの需要は一般的に金曜日が多いことから、稼働台数の5日の周期にかかわらず金曜日の稼働台数を7台確保するようにしたい。このとき、隔日勤務ダ

表 7 隔日勤務シフトと車両割当（車両が 8 台、乗務員が 17 人の場合）

曜日	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S		
乗務員	a	1		1				1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
	b			1		1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
	c				2		2			2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
	d	2				2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
	e		3				3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3
	f	3		3			3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3
	g		4				4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4
	h			4		4			4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4
	i	5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5
	j	5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5
	k	6		6			6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6
	l		6		6			6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
	m			7		7			7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7
	n	7			7		7			7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
	o		8			8			8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8
	p	8			8		8			8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
q		7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8		7	
稼働台数	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	

表 8 曜日の需要変動に合わせた隔日勤務シフトと車両割当 1（金曜日の稼働台数を 7 台に）

曜日		M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	
乗務員	a			1		1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1
	b				1		1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
	c				2		2			2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
	d	2				2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
	e		3			3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
	f	3		3			3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		
	g		4				4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		
	h			4		4			4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		
	i	5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		
	j	5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		
	k	6				6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
	l		6		6			6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
	m			7		7			7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		
	n	7			7		7			7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
	o		8			8			8		8			8		8		8			8		8		8		8		8		8		8		8		8
	p	8				8		8			8		8			8		8			8		8		8		8		8		8		8		8		8
	q		7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8		7
稼働台数		6	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	

イヤで満たすべき条件は以下のとおりとする。

- C1 出番の翌日は明番
- C2 連続する 5 日の中での出番は高々 2 日
- C3 1 台を担当する乗務員は高々 3 人
- C4 1 人が担当する車両は高々 2 台
- C5 各曜日に対して、乗務員間での出番の回数の差が高々 1 日
- C6 対象期間での各乗務員の出番の回数の差が高々 2 日

目標稼働台数をすべて 7 台とし、目標稼働台数に充たない台数分のペナルティを金曜日のみ大きくする。そして、ペナルティの総和最小、かつ、表 7 で与えられたスケジュールからの変更を最小とすることを目的関数とし、C1～C6 を制約条件とした整数計画問題とする。対象期間を 10 週間としてソルバーにより得られた結果の最初の 6 週分が表 8 である。もともと、稼働台数が 6 台であった金曜日前後の出番の修正で達成できている。しかし、変更のあった乗務員 a, k の 10 週間での勤務日数が隔日勤務ダイヤから減少しているのが公平性には欠けているが、長期的に見たときには、変更のある乗務員を固定しないようにすることで解決できる。

表 9 目標稼働台数とペナルティの例

	M	T	W	T	F	S	S
目標稼働台数	7	7	7	7	8	5	5
ペナルティ	2	2	2	2	4	1	1

次に、金曜日は全車両 8 台を稼働させることを考える。表 9 で与えられる目標稼働台数とペナルティを用いて、目標稼働台数に充たない台数分のペナルティの総和と表 7 で与えられたスケジュールからの変更を最小としたスケジュール結果が表 10 である。金曜日の稼働台数 8 台は達成できているが、勤務スケジュールとしては好ましくない。たとえば、乗務員ごとの連休の違い、需要が少ない稼働台数の多い日の勤務は不利になる、など公平性に欠けるといえる。また、10 週間での総稼働台数が 11 台減少している。そこで、表 7 で与えられたスケジュールからの変更をより少なくするように作成したスケジュール結果が表 11 である。元のスケジュールからの変更は減っているが、金曜日の稼働台数 8 台が達成できていない。つまり、効率化を目指して勤務スケジュールの変更は可能ではあるが、公平性とのトレードオフの関係にあることがわかる。特

表 10 曜日の需要変動に合わせた隔日勤務シフトと車両割当 2 (金曜日の稼働台数を 8 台に)

曜日	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	
乗務員	a			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
	b				1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
	c				2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
	d	2				2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		
	e		3			3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		
	f	3		3			3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
	g		4				4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
	h			4			4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
	i			5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
	j		5			5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5
	k			6			6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
	l		6			6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6
	m			7			7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
	n	7			7			7		7			7			7		7			7			7			7			7			7			7
	o		8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8
	p	8		8			8		8			8			8			8			8			8			8			8			8			8
	q		7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8			7		8	
稼働台数	5	7	7	7	8	5	7	7	7	5	7	8	6	7	6	7	7	6	8	6	6	7	7	5	8	7	6	7	6	6	7	8	6	6	7	

表 11 曜日の需要変動に合わせた隔日勤務シフトと車両割当 3 (隔日勤務シフトからの変更を抑える)

乗務員	曜日	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	
	a				1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	b			1				1		1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1
	c				2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2
	d	2				2			2			2			2			2			2			2			2			2			2			2	
	e		3			3			3			3			3			3			3			3			3			3			3			3	
	f	3		3			3		3		3		3			3		3		3			3		3		3			3		3			3		
	g		4				4			4			4			4			4			4			4			4			4			4		4	
	h			4		4			4			4			4			4			4			4			4			4			4			4	
	i	5			5			5			5			5			5			5			5			5			5			5			5		
	j		5			5			5			5			5			5			5			5			5			5			5			5	
	k	6		6			6			6			6			6			6			6			6			6			6			6		6	
	l		6			6			6			6			6			6			6			6			6			6			6			6	
	m			7		7			7			7			7			7			7			7			7			7			7			7	
	n	7			7			7			7			7			7			7			7			7			7			7			7		7
	o		8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8	
	p	8		8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8
q		7		8			7			8			7			8			7			8			7			8			7			8		7	
稼働台数	6	7	7	7	7	6	7	7	7	5	7	8	6	7	6	7	7	6	7	7	7	6	7	7	5	8	7	6	7	6	6	7	8	6	6	7	

に、タクシー乗務員の場合には公平性を重視し、C1～C6 の条件以外にも公平性の条件を加えていくと、隔日勤務ダイヤとはほぼ変わらないものとなる。

4. おわりに

スタッフ・スケジューリングでは、手作業で行われている勤務表作成の自動生成や作成支援が望まれ、そのための研究が多数なされている一方で、手作業を基本として、いくつかの理想的なパターンを把握したい、基本のパターンを微修正したいという要望もある。本稿で扱った周期性のあるスケジュールは、このような理想的なパターンの生成、およびその調整に対応できるものとする。勤務表作成を手作業で行えていても、よりよいスケジュールが存在するのではないかという疑問が常にある。これらの疑問の解消のためには、数理モデルを作成し最適化問題を解くことに価値があると言える。

参考文献

[1] G. B. Dantzig, “A comment on Edie’s traffic delay

at toll booths,” *Operations Research*, **2**, pp. 339–341, 1954.
 [2] A. T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens and D. Sier, “An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering,” *Annals of Operations Research*, **127**, pp. 21–144, 2004.
 [3] A. T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy and D. Sier, “Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models,” *European Journal of Operational Research*, **153**, pp. 3–27, 2004.
 [4] J. Van den Bergh, J. Beliën, P. De Bruecker, E. Demeulemeester and L. De Boeck, “Personnel scheduling: A literature review,” *European Journal of Operational Research*, **226**, pp. 367–385, 2003.
 [5] 徳永拓真, 田中勇真, 小林隆文, 沓水佑樹, 池上敦子, “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,” 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, **8**, pp. 57–65, 2015.
 [6] 繁野麻衣子, 池上敦子, “スタッフ・スケジューリング,” 『サービスサイエンスとはじめ』, 高木英明 (編), 筑波大学出版会, pp. 177–210, 2014.
 [7] 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, **53**, pp. 231–259, 2005.
 [8] 富井規雄, “鉄道のスケジューリングアルゴリズム—現状と今後の課題—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **49**(1), pp. 33–39, 2004.