

整数計画による保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムの開発（延長）

代表研究者 伊 藤 真 理 東京理科大学 理工学部 経営工学科 講師

1 はじめに

近年、我が国では少子化が進行する一方で、待機児童問題が深刻化している。平成 29 年の厚生労働省の調査によると、待機児童数は 26,081 人、前年より 2,528 人増加していることが明らかになった[1]。待機児童問題が進行している一因として、保育士不足があげられる。保育士不足は高い離職率によって生じている。平成 25 年の保育士の離職率は全国平均で 10.3%であった[2]。保育士の離職率を低減するためには、保育士の職場に対する満足度を向上する必要がある。保育士の職場に対する改善希望は、給与・賞与等の改善に次いでシフトの改善が占めている。具体的には、職員数の増員、事務・雑務の軽減、有給休暇の未消化の改善等がある[3]。そのため、シフトの合理的な改善が重要視されつつある。また近年、日本では労働者がそれぞれの事情に応じて多様で柔軟な働き方を選択できるようにするための「働き方改革」が推進されている。この改革を施設に取り込むためには、保育士のモチベーションや能力を十分に発揮できる職場環境へと整える必要がある。しかしながら、手作業によって様々な条件を満たしながら、合理的または最適な保育士のシフト管理を行うことは、難しい。また、保育士不足の影響を受け、保育士同士が不足箇所の補充を行うため、保育士のシフト管理は一括して行われるのが望ましい。しかしながら、複数箇所施設を運営している場合、所在地の影響で、必ずしも一括してシフト管理を行うことができない。最適化技術によって、一括してシフトを自動作成できるシステムを構築することが有効である。

本研究では、保育士がいつ、どのシフトで勤務するかを自動決定するシフト管理クラウドコンピューティングシステムを開発する。具体的には、全保育士（ユーザ）はオンラインストレージサービスを通じて、対話的にインプットデータ条件を設定し、自動的にアウトプットデータを取得する。保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムは、オンラインストレージサービスにアクセスすることで、シフト管理を行うことができる。そのため、ユーザのプログラミング技術や環境設定が不要である。さらに、インプット・アウトプットデータの管理が自動で行える。また、紙媒体による従来のシフト管理をクラウドコンピューティングによって行うことにより、保育士同士が不足箇所の補充状況を把握し、今後の重点増員箇所やシフトの種類の変更などの改善点を明確化することができる。シフトを一括管理することによって、施設全体の最適な管理を提案することができる。シフトは、2 段階の整数計画モデルを解くことによって自動作成される。本システムの有効性は、実データを用いた数値分析とシフト管理者の評価から示す。

本研究の目的は、保育士のシフト管理における 2 段階の整数計画モデルを提案し、シフトを一括管理することができる保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムを開発することにより、実社会へ貢献することである。本システムを用いて得られたシフトは、ユーザに保育士の不足情報を明示し、施設運営における人員補充や保育士の勤務形態変更の意思決定を補足する役目を担うことができる。また、クラウドコンピューティングの使用によって、ユーザの作業、データ管理を自動化・簡略化することで、ユーザの負担を軽減する。さらに、最適化技術の社会への普及が促進されることを目標としている。

2 関連研究

シフト管理については長年にわたって研究されてきた[4-6]。たとえば、公共交通機関の乗務員、医療従事者、従業員などのシフトスケジューリング問題があげられる。近年、シフトスケジューリングの手法に対する理論的な研究が進み、ソルバーの求解速度が向上している。しかしながら、シフト管理者の希望を全て考慮したシフトスケジュールの作成は解探索に長い時間を必要とする場合が多い。そのため、一部の条件を緩和するようなモデリングの工夫や解探索における新たな解法の提案などが試みられている。たとえば、Ito et al. [7]は、研修医の当直シフトスケジューリング問題を 0-1 整数計画問題として定式化した。研修医に行ったアンケートを階層化意思決定法によって分析し、研修医のシフトに対する嗜好をスケジュールに考慮した。Beaulieu et al. [8]は、救急科の医師のシフトスケジューリング問題を整数計画問題として定式化した。

複数の制約を満たすために、正規医師に割り当てられないシフトに勤務する仮想的な“ダミー医師”をモデルに追加し、勤務表を短時間で作成した。Cuevas et al. [9]は、多スキルの従業員のシフト管理問題を混合整数計画問題として定式化した。Volland et al. [10]は、病院助手のシフトとタスクスケジューリングの統合した問題を整数計画問題として定式化した。これらの研究と本研究とのシフト作成の対象は異なるが、シフト作成に対する考え方は保育士のシフト管理においても適用可能である。

保育士のシフトスケジューリング問題に関する研究は依然として不十分である。Ito et al. [11, 12]では、ある保育所を対象に保育士のシフトスケジューリング問題を 0-1 整数計画問題として定式化した。このモデルでは、制約条件を労働基準法による条件、施設の規定による条件、スケジュール作成者が満たしたい条件と 3 つの条件にカテゴリー分けを行い、必ず満たす条件となるべく満たしたい条件を明確にし、勤務表を数秒で作成した。本対象とした施設は、所在地が 1 つであったため、シフトを一括管理する必要はなかった。しかしながら、所在地が複数ある保育所も多く、保育士不足が深刻化している昨今では、シフトの一括管理を行い、複数保育所を全体で最適化する必要がある。また、保育士が満足するスケジュールを作成するために、保育士のシフト選好を考慮する必要がある。職員の選好を考慮したシフトスケジューリングに関する研究として、Grosset et al. [13]は、医師の選好を考慮したシフトスケジューリング問題を混合整数計画問題として定式化した。しかし、シフト選好は「希望する」、「希望しない」の二つの選択肢をバイナリ変数を用いて表現しており、シフト選好の度合いを表現できていない。Mohan [14]は、非正規職員の選好を考慮したシフトスケジューリングモデルを提案した。しかし、このモデルは、非正規職員と正規職員の働き方の違いから、正規職員に対して適応することができない。

3 保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステム

3-1 保育士のシフトスケジューリング

保育士のシフトスケジューリングは、保育士がいつ、どのシフトで勤務するかを決定する。保育士は早番、日勤や遅番に分類される様々なシフトで勤務する。ここでは、シフトとして、勤務時間とタスクが既に紐づけているものを保育士に割り当てる。図 1 に、保育士のシフトスケジュール例を示す。1 列目には、保育士名、1 行目には日付が記されている。セル内には、保育士が勤務するシフトを示している。表 1 に、勤務形態、シフトの種類と勤務時間を示す。各シフトには役割があり、早番の B シフトは、6 時 15 分から 15 時の時間帯で勤務し、子どもたちの起床、通学、掃除、洗濯などのサポートを行う。日勤の A シフトは、9 時 00 分から 17 時 45 分の時間帯で勤務し、施設内でのミーティングやイベントの準備などを行う。遅番の E シフトは、13 時 15 分から 22 時の時間帯で勤務し、幼児の補助、夕食・入浴・就寝の補助を行う。これらは、食事や休憩等の時間を含んでいる。勤務形態の中で、早番・日勤・遅番が多く保育士に割り当てられている。

各保育士が早番・日勤・遅番のいずれの勤務を希望するかを、保育士のシフト選好とし、スケジュールに反映する。表 2 に保育士のシフト選好例を示す。表 2 より、保育士 1 は、早番:日勤:遅番をそれぞれ 8:1:1 の割合で勤務したいと考えている。同様に、保育士 B は、早番:日勤:遅番をそれぞれ 3:6:1 の割合で勤務したいと考えている。

	日	月	火	水	木	金	土
保育士 1	A	日	A	A	A	A	A
保育士 2	日	E直	B	C	休	A	C
保育士 3	C	C	E直	日	C	E	休

図 1 保育士のシフトスケジュール例

表 1 勤務形態、シフトの種類と勤務時間、休憩等の時間を含む

勤務形態	シフト	開始時刻	終了時刻
早番	B	6:15	15:00
	B1	7:00	15:45
	B2	6:00	14:45
	G	6:15	12:00
	G1	7:00	12:45
	G2	6:00	11:45
日勤	A	9:00	17:45
	A2	8:30	17:15
	C	10:30	19:15
	C1	9:45	18:30
遅番	D	12:15	21:00
	E	13:15	22:00
遅番(宿直)	E直	22:00	6:15
時短	HA	9:00	14:45
出張	出		
休暇	休		
	日		

表 2 保育士のシフト選好例

	早番	日勤	遅番
保育士 1	8	1	1
保育士 2	3	6	1

対象は、複数の所在地に保育所を持つ施設とする。保育士不足の影響を受け、各保育所には施設の運営上最低限必要な保育士のみを雇用しているとする。そのため、ある保育所で保育士が不足した場合には、保育所間で人員補充を行う。人員補充については、保育士の経験知を加味して、補充可能シフトを決める。

3-2 システムの設計

保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムは、表計算ソフトである Excel、プログラミング言語である Python、最適化計算ソルバー Gurobi とオンラインストレージサービスの Dropbox を用いて開発を行う。図 2 に、保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステム設計の概要を示す。ユーザは、Dropbox 上の Excel ファイルから本システムを利用する。本システムでは、インプット・アウトプットデータ管理の自動化と対話的にインプットデータ条件を設定できる。具体的には、各シフトに対する保育士の必要人数や会議の予定等のインプットデータを設定する。そのインプットデータに基づきシフトを自動作成する。最適なシフトは、第 3-3 節のモデルに基づき最適化計算ソルバーの Gurobi によって高速に得られる。その得られたシフトはアウトプットデータとして、Dropbox 上に自動的にシフト表が生成され、ユーザに共有される。解析データの管理としては、インプットデータとアウトプットデータが蓄積される。図 3 に、保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムのインターフェイスの一部を示す。本システムは、Excel 上に Visual Basic for Applications (VBA) を用いて実装した。ユーザは図 3 の「データ設定」、「データ数値化」と「シフト自動作成」ボタンを順に押す操作で、シフトを自動作成する。「データ設定」ボタンで

は、保育士がシフトに入れない日を指定する. このボタンを押すことで、自動的にインターフェイス上のシフトの適切な箇所へ“休”または“日”印が入力される. 「データ数値化」ボタンでは、シフト作成に必要なデータを数値化する. 「シフト自動作成」ボタンでは、第3-3節の保育士のシフトスケジュールリング問題を解き、スケジュールを作成する. このスケジュールのアウトプットデータは、インターフェイス上に記される.

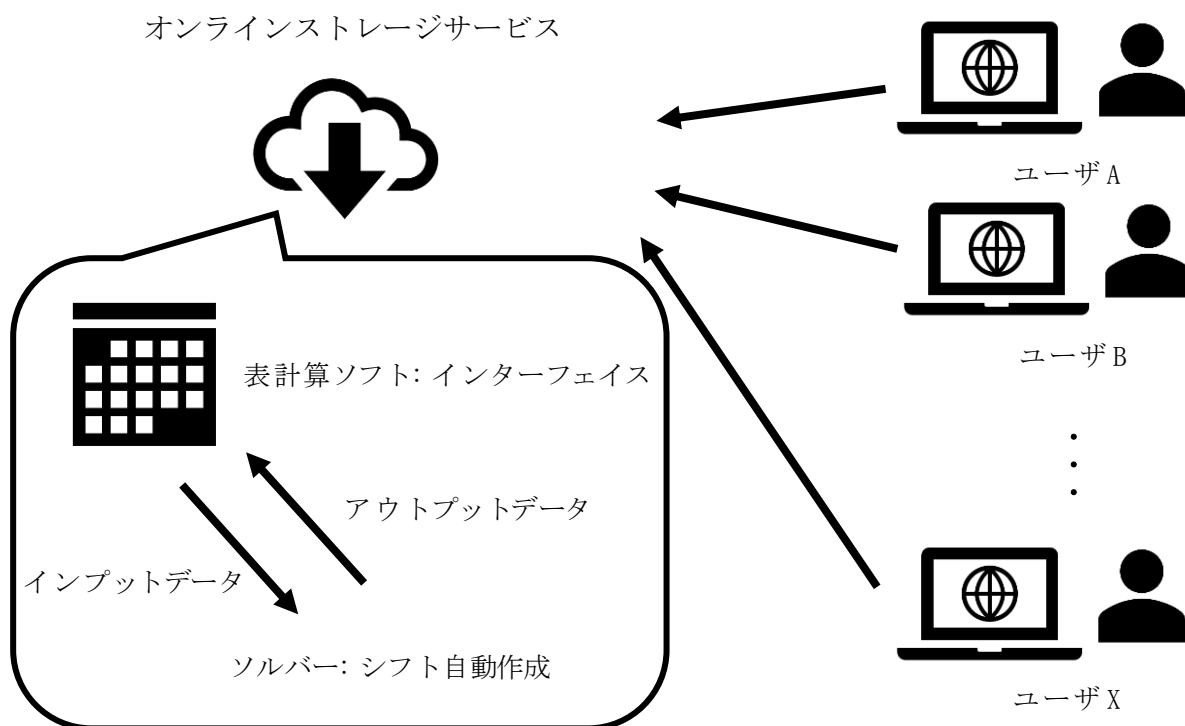


図2 保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステム設計の概要

年度		保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステム																												月 日 ~ 月 日	
		データ設定 データ数値化 シフト自動作成																													
		日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土		
園 長		A	日	A	B	A	A	A	休	G	E直	B	日	E	A	A	休	E	A	日	A	D	E	休	A	A	E直	日	E		
副園長(事務長)		日	E直	B	C	休	A	C	C	E直	日	A	C	休	C	A	A	日	A	A	E直	休	A	C	C	A	日	E直	G		
FSW		C	C	E直	日	C	E	休	C	C	A	日	A	A	休	C	C	A	日	A	G	C	休	A	C	A	C	A	C	G	
FSW補助		E直	B	E直	日	D	休	B	B	E直	B	日	E直	休	E直	B	A	E直	日	A	HA	休	B	B	E直	日	E直	B	B		
事務補助		HA	E直	日	B	E直	B	休	B	A	B	日	E直	B	E直	B	休	E直	日	E直	B	A	E直	休	D	日	B	E直	B		
学童部会	個別対応職員	E直	日	B	E直	休	E	B	B	B	G	E直	日	E	E	D	E直	B	休	E直	日	B	E直	B	A	E直	休	A	日		
	Aグループ	男	B	E	B	日	E直	休	E直	B	D	B	E直	日	E直	B	E直	休	D	E直	B	日	G	E直	B	E直	休	E	D	日	
		女	E	E直	日	B	B	G	休	D	E	E直	日	D	B	休	B	D	E直	日	B	D	E	休	E	B	B	日	E	E直	
	Bグループ	男	E直	日	D	E直	B	休	E	E	G	日	D	E直	休	E直	B	E直	B	E直	B	休	B	E直	B	E直	B	D	日	D	
		女	日	B	休	E	E	E直	B	日	A	D	B	休	E直	B	B	C	B	休	E直	G	E直	日	A	D	D	B	D		
	Cグループ	男	日	G	E直	B	休	E直	B	E直	日	E直	B	B	B	休	D	日	E直	B	D	E	E直	休	E	A	日	E直	B	E直	
女		D	D	E	日	E	休	E直	B	E直	B	日	B	休	D	D	E	B	E直	日	G	E	B	休	E	E直	B	日	B		
幼児部会	Dグループ 小規模GC	女	日	E	C	休	E直	G	D	日	C	E	C	E直	休	B	日	C	C	C	E直	休	C	C	日	C	E	C	E直	B	
		女	B	日	B	E直	休	E	C	C	E	日	C	C	D	休	E直	B	E直	日	E	C	C	休	C	E直	G	C	日	C	
		女	B	日	B	E直	休	E	C	C	E	日	C	C	D	休	E直	B	E直	B	B	B	休	E直	B	E直	B	HA	A	日	E直
		女	C	C	日	E直	休	C	E	B	E	日	E直	G	C	C	C	休	C	C	日	C	E直	B	C	D	休	E直	日	B	

図3 保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムのインターフェイスの一部

3-3 モデル

シフト自動作成のモデルは、保育士がいつ、どのシフトで勤務するかを決定する2段階の整数計画問題として定式化する。具体的には、1 段階目において、非正規保育士の必要人数を確定した後に、2 段階目において、正規保育士のシフトに対する選好を最大化する保育士のシフトスケジュールを作成する。1 段階目の非正規保育士のシフト数を最小化する問題を P1 として名付け、2 段階目の保育士のシフト選好を最大化する問題を P2 として名付ける。P2 を解く前に、P1 を解いて非正規保育士のシフト数の最小値を決定し、P2 において、非正規保育士のシフト数を制限する。P1 は 0-1 整数計画問題、P2 は混合整数計画問題として定式化する。

3-3-1 第 1 段階目: 非正規保育士のシフト数を最小化するモデル, P1

本モデルでは、“ダミー保育士”を部分的に割り当て、シフト管理者の理想的なシフトを実現する。つまり、正規保育士に割当不可能であるシフトをダミー保育士に割り当てることによって問題を緩和し、スケジュールを作成する。ここでのダミー保育士は、非正規保育士を指す。非正規保育士のシフト数を最小化することを目的とする。文字と定式化を以下に記す。

文字の定義

集合

I : 保育士の集合

I^r : 正規保育士の集合, $I^r \subset I$

I^d : 非正規保育士の集合, $I^d = I \setminus I^r$

A : 会議の集合

$I_a(a \in A)$: 会議 a に参加する保育士の集合

$T_a(a \in A)$: 会議 a 実施日の集合

D : 部門の集合

$I_d(d \in D)$: 部門 d の保育士の集合

J : シフトの集合

J_e : 早番と休暇のシフトを除いたシフトの集合, $J_e \subset J$

K : 勤務形態の集合

$J_k(k \in K)$: 勤務形態 k のシフトの集合

T^t : 日の集合, $t = 1, \dots, \tau$

T^s : 土日の集合

T^l : 前週の 6 日の集合

F : 週の集合

$W_f(f \in F)$: 週 f の日付の集合

定数

$\hat{l}$: 保育士の月あたりの最大シフト数

$\bar{a}_{ik}, \underline{a}_{ik}(i \in I^r, k \in K)$: 正規保育士 i の月あたりの勤務形態 k の最大または最小シフト数

$\bar{s}_{dk}, \underline{s}_{dk}(d \in D, k \in K)$: 部門 d の日あたりの勤務形態 k の最大または最小シフト数

$\bar{m}, \underline{m}$: 保育士の週あたりの最大または最小シフト数

$k_a(a \in A)$: 会議 a に参加する保育士の勤務形態

$\bar{b}_{ij}(i \in I^r, j \in J)$: 週あたりの正規保育士 i のシフト j の最大数

$q_i(i \in I^r)$: 前月の最終日に正規保育士 i が夜勤をしている場合 1, その他のとき 0

$p_{ijt}(i \in I^r, j \in J, t \in T^l)$: 正規保育士 i の前週 t 日にシフト j で勤務するとき 1, その他のとき 0

$c_{it}(i \in I^r, t \in T^l)$: 正規保育士 i が日 t に出勤しなければならないとき 1, その他のとき 0

決定変数

$x_{ijt}(i \in I^r, j \in J, t \in T^l)$: 正規保育士 i が日 t にシフト j で勤務するとき 1, その他 0

定式化

$$\text{Minimize} \quad N = \sum_{i \in D} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T^l} x_{ijt} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{t \in T^t} \sum_{j \in J} x_{ijt} \leq \hat{l}, \forall i \in I, \quad (2)$$

$$\underline{a}_{ik} \leq \sum_{t \in T} x_{ijt} \leq \bar{a}_{ik}, \forall i \in I^r, \forall j \in J, \quad (3)$$

$$\underline{s}_{dk} \leq \sum_{i \in I} x_{ijt} \leq \bar{s}_{dk}, \forall d \in D, \forall k \in K, \forall t \in T^t, \quad (4)$$

$$c_{it} \leq \sum_{j \in J} x_{ijt}, \forall i \in I^r, \forall t \in T^t, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_{k_a}} x_{ijt} = 1, \forall i \in I_a, \forall t \in T_a, \forall a \in A, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq 1, \forall i \in I, \forall t \in T^t, \quad (7)$$

$$\underline{m} \leq \sum_{t'=t, \dots, t+6} \sum_{j \in J} x_{ijt'} \leq \bar{m}, \forall i \in I, \forall t=1, \dots, \tau-6, \quad (8)$$

$$\sum_{t \in W_f} x_{ijt} \leq \bar{b}_{ij}, \forall i \in I^r, \forall j \in J, \quad (9)$$

$$x_{ijt} + x_{ij', t+1} \leq 1, \forall i \in I, j=14, \forall j' \in J_e, j \neq j', t=1, \dots, \tau-1, \quad (10)$$

$$q_i + x_{ijt} \leq 1, \forall i \in I^r, \forall j' \in J_e, t=1, \quad (11)$$

$$\underline{m} \leq \sum_{t'=t}^6 p_{ijt'} + \sum_{t''=1}^t x_{ijt''} \leq \bar{m}, \forall i \in I^r, \forall j \in J, t=1, \dots, 6, \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I_d} x_{ijt} = 1, \forall t \in T^s, \forall j \in J_k, k = \text{Early}, d = \text{Infant}, \quad (13)$$

$$x_{ijt} \in \{1, 0\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T^t. \quad (14)$$

上記の定式化において、目的関数(1)は非正規保育士に割り当てられるシフト数を最小化する。制約式(2)は保育士の月あたりのシフト数を上限値 $\hat{l}$ で制限する。制約式(3)は保育士 i の勤務形態 k の月あたりのシフト数を上下限値 $\underline{a}_{ik}$ と $\bar{a}_{ik}$ で制限する。制約式(4)は勤務形態 k の日あたりのシフト数を上下限値 $\underline{s}_{dk}$ と $\bar{s}_{dk}$ で制限する。制約式(5)は保育士 i が必ず出勤する日を示す。制約式(6)は会議予定時にシフトに入る。制約式(7)は保育士は1日に多くても1つのシフトを担当する。制約式(8)は1週間の勤務数を上下限値 $\underline{m}$ と $\bar{m}$ で制限する。制約式(9)は1週間のシフト数を制限する。制約式(10)は連続するシフトを制限する。ここでは、宿直勤務が連続することを禁止する。制約式(11)は連続するシフトを制限する。ここでは、宿直勤務の次の日は必ず早番または休日とする。制約式(12)は前月の勤務表の6日間を取得し、1週間の勤務数を制限する。制約式(13)は土日に、乳児部門の早番に保育士1名を配置する。制約式(14)は x_{ijt} をバイナリ変数と定義する。

3-3-2 第2段目: 正規保育士のシフト選好を最大化するモデル, P2

本モデルでは、各保育士のシフト選好と割り当てられるシフトの差を最小化することを目的とする。追加の文字と定式化を以下に記す。

文字の定義

追加の定数

N^* : 非正規保育士の最小シフト数, これは第1段目をあらかじめ解くことで得られる。

$p_{ik}(i \in I^r, k \in \{\text{Early}, \text{Middle}, \text{Late}\})$: 正規保育士 i の勤務形態 k の選好

R : シフト選好の合計

追加の変数

$\alpha_{ik}(i \in I^r, k \in \{\text{Early}, \text{Middle}, \text{Late}\})$: 正規保育士 i の勤務形態 k の選好と割り当てられるシフトの差, 補助変数

定式化

$$\text{Minimize } \sum_{i \in I^r} \sum_{k \in \{\text{Early}, \text{Middle}, \text{Late}\}} \alpha_{ik} \quad (15)$$

s. t.

式(2) – (14),

$$\sum_{i \in I^d} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T^t} x_{ijt} \leq N^*, \quad (16)$$

$$R \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} - p_{ik} \sum_{k \in \{Early, Middle, Late\}} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} \leq \alpha_{ik}, \quad \forall i \in I^r, k \in \{Early, Middle, Late\}, \quad (17)$$

$$R \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} - p_{ik} \sum_{k \in \{Early, Middle, Late\}} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} \geq -\alpha_{ik}, \quad \forall i \in I^r, k \in \{Early, Middle, Late\}. \quad (18)$$

上記の定式化において、目的関数 (15) は各保育士の早番・日勤・遅番の勤務形態における選好と、割り当てられるシフトの差を最小化する。制約式(16)は、非正規保育士のシフト数を制限する。制約式(17)と(18)により、変数 α_{ik} を定義する。

4 システムの有効性の検証

4-1 データ

ここでは、実データを用いて2つのモデルを比較する。実データは、児童養護施設のものを使用する。児童養護施設には、保育士を主とする多職種の職員が勤務している。表3に、対象施設の職員の所属施設、担当と人数を示す。表3の幹部職員は、園長、副園長、家庭支援専門相談員(FSW; Family Social Worker)である。対象施設では、大規模養護施設、小規模養護施設A、小規模養護施設Bの3つの養護施設のシフトスケジュールを各担当の代表者が集まり、作成している。シフトスケジュールを作成するためには、職員の担当によって異なる条件を満たさなければならない。しかしながら、全ての条件を必ず満たすことは職員不足の影響で、困難である。そのため、職員が不足している場合には、他施設や他担当の職員による補充を行っている。この職員補充にも条件がある。表4に、職員補充条件を記す。たとえば表4では、幹部職員は全保育士のシフトに勤務することができることを示している。これは、幹部職員が保育士としての経験知を持つことを意味する。対象とする児童養護施設の過去の標準勤務表の分析とシフト管理者との打ち合わせから、標準勤務表作成に必要なパラメータを設定した。パラメータ値を表5にまとめる。ただし、ここでは $\underline{a}_{ik}$, $\bar{a}_{ik}$, $\underline{s}_{dk}$, $\bar{s}_{dk}$, c_{it} , q_i 等のパラメータ値の詳細は省略する。正規保育士 i の勤務形態 k の選好 p_{ik} は、保育士に対するアンケートにより決定する予定であるが、ここでは、下記の手順にて生成した。

1. $[0, R]$ の範囲における整数が一様分布に従うとき、ランダム値 n_1 と n_2 ($n_1 \leq n_2$) を生成する。
2. 正規保育士 i の早番・日勤・遅番の選好 p_{ik} は、 n_1 , $n_2 - n_1$, $R - n_2$ とする。

上記の手順にて、5つのインスタンスを作成した。各インスタンスにおいて、6ヵ月分のスケジュールを作成した。ただし、最適化計算は1ヵ月ごとに行った。なお、各月のスケジュールは、前月のスケジュールを反映している。

求解には、最適化ソルバーGurobi 9.1.0を使用した。計算機環境は、Intel(R) Core (TM) i7-7500 U CUP @ 2.90 GHz 8.00 GB である。

4-2 評価指標

ここでは、第3章の定式化の評価指標を提案する。評価指標を以下に記す。

$$S_{im} = \sum_{k \in \{Early, Middle, Late\}} \left| \frac{\sum_{j \in J_k} \sum_{t \in T} x_{ijt}}{\sum_{k \in \{Early, Middle, Late\}} \sum_{j \in J_k} \sum_{t \in T} x_{ijt}} - \frac{p_{ik}}{R} \right|, \quad \forall i \in I^r, \forall m \in M, \quad (19)$$

$$ND_m = \sum_{i \in I^r} S_{im}, \quad \forall m \in M, \quad (20)$$

$$ND = \sum_{m \in M} ND_m. \quad (21)$$

上記の評価式(19)は正規保育士 i の m 月のシフトに対する不満度 S_{im} を表す。 S_{im} が小さいほどスケジュールへの満足度が高いことを示す。評価式(20)の ND_m は、 m 月の全正規保育士のシフトに対する不満度の合計を表す。 ND_m が小さいほど、シフト選好が考慮された良いスケジュールであることを示す。評価式(21)の ND は、6ヶ月間全体の正規保育士の不満度を表す。 ND が小さいほど、長期的にシフト選好が考慮された良いスケジュールであることを示す。 M は月の集合、ここでは $|M| = 6$ である。

表 3 対象施設の職員の所属施設、担当、職員と人数

施設	担当	職員	人数
大規模養護施設		幹部職員	3
	児童担当	個別対応職員	1
	児童担当	保育士	6
	幼児担当	保育士	4
	厨房担当	栄養士	1
		調理員	4
小規模養護施設 A		保育士	3
小規模養護施設 B		保育士	3
			計 25

表 4 職員補充条件

代わりに担当可能な職員	不足している担当
幹部職員または児童担当職員	幼児担当保育士
幹部職員または幼児担当保育士	児童担当保育士
栄養士	調理員
幹部職員、児童・幼児担当保育士	小規模養護施設 A・B の保育士

表 5 パラメータ値

正規保育士の集合	I^r	25
非正規保育士の集合	I^d	8
シフトの集合	J	22
早番シフトの集合	J_1	6
日勤シフトの集合	J_2	5
遅番シフトの集合	J_3	3
時短シフトの集合	J_4	3
出張シフトの集合	J_5	1
休暇シフトの集合	J_6	4
部門の集合	D	39
勤務形態の集合	K	20
日の集合	T^t	28
保育士の月あたりの最大シフト数	$\hat{l}$	21
保育士の週あたりの最大シフト数	$\overline{m}$	6
保育士の週あたりの最小シフト数	$\underline{m}$	5
シフト選好の合計	R	10

4-3 結果と考察

システムの有効性について、シフト管理者の評価と第 4-1 節の実データを用いた計算実験によって検証する。手作業でシフトスケジュールを作成する際には、数日費やしていたのに対し、本システムを用いることで、数秒でシフトスケジュールを作成することが可能となった。

4-3-1 P1 の結果

本事例には、41,204 の制約と 20,328 の変数があった。P1 によりシステムを用いてシフトスケジュールを作成した結果、計 37 シフトが割り当て不可能となり、非正規職員に割り当てられた。表 6 に、非正規職員に割り当てられた勤務形態を示す。表 6 より、勤務形態における必要補充シフト数が明確化した。次に、システムを用いて作成した保育士のシフトスケジュールとシフト管理者の手作業で作成したシフトスケジュールを比較する。システムを用いて作成したシフトスケジュールでは、手作業では考慮できていなかった条件を満たすことができた。図 4 に、システムを用いて作成したシフトスケジュールの各保育士に対する月あたりの早番・日勤・遅番の回数を示す。図 5 に、シフト管理者の手作業で作成したシフトスケジュールの各保育士に対する月あたりの早番・日勤・遅番の回数を示す。図 4 と図 5 の幹部職員のシフトを比較すると、図 5

では副園長が日勤のシフトのみに勤務していたのに対し、図4では全勤務形態のシフトに勤務した。これは図5では、幹部職員が児童担当または幼児担当の保育士不足を補填していたのに対し、図4では非正規保育士が児童担当または幼児担当の保育士不足を補填したことによって、幹部職員のシフトが平準化されたからである。図5では幼児担当の保育士は保育士間のシフト数に差があったのに対し、図4では勤務形態が同数になった。これは幼児担当の保育士に対し、非常勤保育士が補填されたことによって、幼児担当の保育士のシフトが平準化されたからである。また、作成した勤務表より、制約式(3)の上限値に関する制約を満たすことができず、Cシフトが非常勤保育士へ割り当てられていることがわかった。

システムの有効性について、シフト管理者の評価によって検証する。上記の結果と考察を踏まえ、システム管理者へ以下の2つの職員不足改善策を提案した。

1. 幼児担当の月曜日から金曜日の早番にパートタイマーの補充
2. A2シフトの廃止によるCシフトの制約式(3)の上限値の緩和

提案2においては、制約式(3)が日勤のCシフトに対してハードな制約であるため、同勤務形態であるA2シフトを廃止し、A2シフトの上限数をCシフトの上限数へ加える。それにより、Cシフトの制約式(3)の上限値を緩和することによって、人員不足箇所を削減する可能性を示唆した。

提案1については、シフト管理者より、幼児担当の保育士不足は常日頃体感しているとの意見があり、システムで作成したシフトスケジュールは現実味のあるものであることがわかった。一方、提案2については、A2シフトは幼児の送り迎えをするタスクが紐づいており、このタスク担当が必ず必要なため、A2シフトをCシフトへ変更ができないことがわかった。これは、シフトスケジューリングモデルに予めタスク内容も考慮することで、改善できると考えられる。

表6 非正規職員に割り当てられた勤務形態

担当	勤務形態	回数
幼児担当の保育士	早番	4
児童または幼児担当の保育士	日勤	20
児童または幼児担当の保育士	遅番	11
厨房担当の調理員	日勤	2

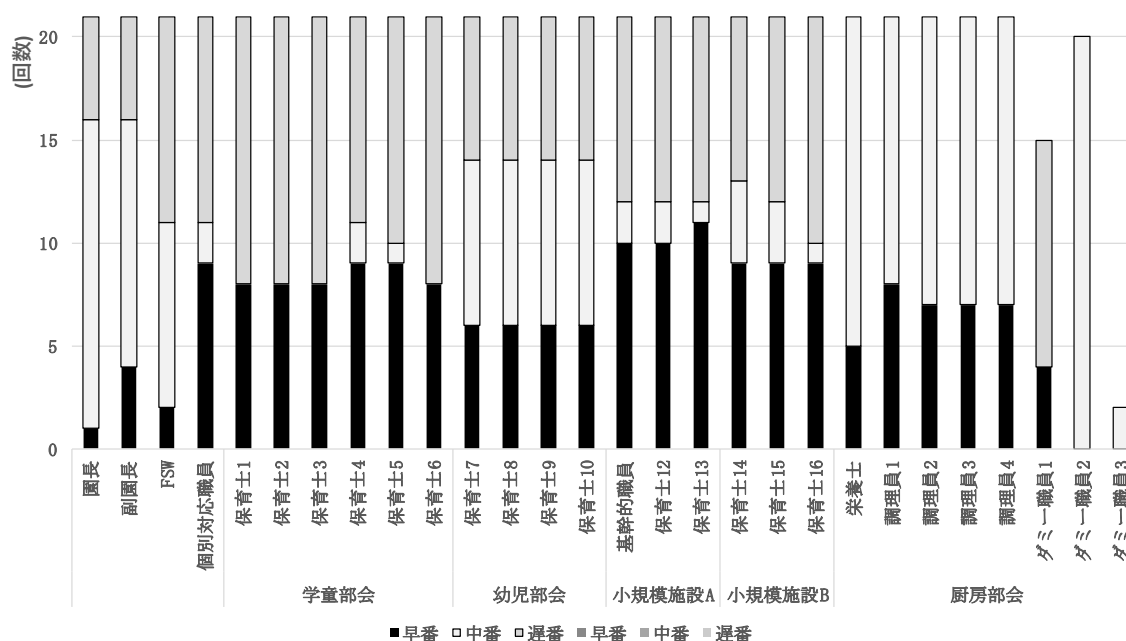


図4 システムを用いて作成したシフトの各職員に対する月あたりの早番、日勤、遅番の回数

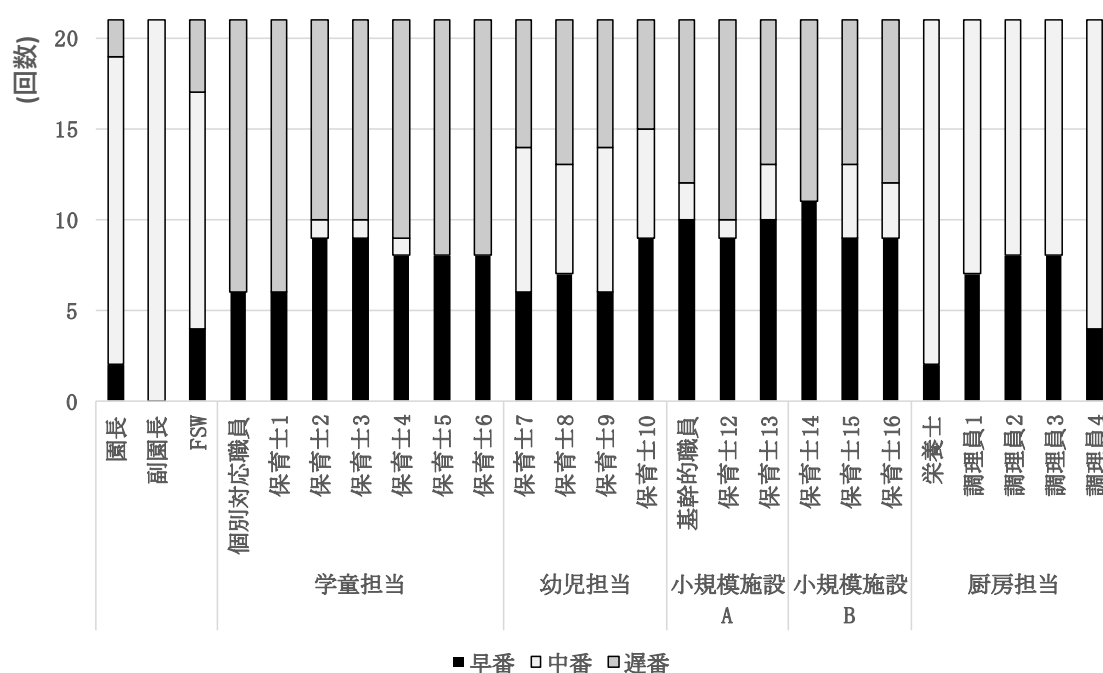


図 5 シフト管理者による手作業で作成したシフトの各職員に対する月あたりの早番，日勤，遅番の回数

4-3-2 P2 の結果

ここでは，P1 と P2 を比較する．本事例の P2 には，42,775 の制約と 20,403 の変数があった．表 7 に，全インスタンスの保育士の不満足度 ND を示す．表 7 では，P2 が P1 よりも保育士のシフトに対する不満足度が低いことを示す．P1 は，正規保育士のシフトの選好の値に影響を受けずシフトスケジュールにシフト選好を考慮することができる．表 8 に，各インスタンスの各月の保育士の不満足度 ND_m を示す．表 8 より，各インスタンスの P2 の保育士の不満足度 ND_m が P1 よりも常に小さい．以上より，シフト選好を考慮した P2 モデルの使用を推奨する．全インスタンスにおいて，P2 モデルは評価指標で一貫して良いスコアを出しており，長期的にシフト選好が考慮されている．P2 は正規保育士の長期的な満足度を高めるためのモデルとして優れている．

表 7 保育士の不満足度， ND

	インスタンス 1	インスタンス 2	インスタンス 3	インスタンス 4	インスタンス 5
P1	110.8	129.4	119.5	131.4	129.5
P2	56.1	72.0	51.9	83.7	68.5

表 8 各月の保育士の不満度, ND_m

	1ヶ月目	2ヶ月目	3ヶ月目	4ヶ月目	5ヶ月目	6ヶ月目
インスタンス 1: P1	17.86	18.63	19.38	18.29	18.20	18.48
インスタンス 1: P2	9.35	9.35	9.32	9.33	9.35	9.34
インスタンス 2: P1	22.09	21.71	21.99	21.22	21.16	21.22
インスタンス 2: P2	12.01	12.01	12.01	12.01	11.99	11.99
インスタンス 3: P1	19.90	20.75	19.90	19.86	18.78	20.29
インスタンス 3: P2	8.57	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67
インスタンス 4: P1	21.78	21.78	21.95	22.07	22.51	21.30
インスタンス 4: P2	13.96	13.96	13.96	13.99	13.90	13.96
インスタンス 5: P1	21.72	22.38	21.33	21.33	21.68	21.07
インスタンス 5: P2	11.40	11.44	11.40	11.40	11.44	11.46

5 おわりに

本研究では、保育士のシフト管理クラウドコンピューティングシステムを実装し、数値分析の評価を通して、本システムの有効性を示した。本システムの提案により、保育士のシフト管理を一括して、自動的に行うことが可能となった。手作業で数日間費やしていたシフト管理が本システムを使用することで、数秒で可能となり、システムの使用は手間と時間を削減することがわかった。さらに、本システムは、シフトスケジュールに手作業では考慮できていなかった条件を満たした。また、非正規保育士が割り当てられたシフトを確認することによって、シフトに対する必要補充人数を明確にした。さらに、非正規保育士の補充によって、正規保育士のシフトが平準化された。対象施設のシフト管理者との職員不足改善策についての話し合いを通し、パートタイマーの補充と一部のシフトの廃止による職員不足改善策の提案を行った。さらに、2 段目のモデルにおいて、保育士のシフト選好を考慮してシフトスケジュールを作成した。本モデルを用いて作成したスケジュールは、長期的に正規保育士のシフト選好を考慮することができ、昨年度提案したモデルを用いて作成したスケジュールの性能を上回ることができた。本結果から、提案モデルは、保育士のシフトに対する満足度を高め、日本の待機児童問題の主な原因である保育士不足の解決に貢献できると考えられる。

今後の展望として、全保育士からのシステム評価ならびに、システム試用による作業時間の短縮への影響を定量的に評価したい。また、本システムの急なスケジュールの変更をユーザに即座に伝えたり、各シフトへの勤務回数や休暇の取得状況をユーザ間で共有したりすることによる、施設の全保育士がシフト状況を把握し、勤務環境改善に対し意識的に取り込むことのシステムの支援の効果についても検証していきたい。モデルにおいては、シフト選好だけではなく、保育士間の公平性も考慮する必要がある。公平性が保たれれば、正規保育士の満足度はより向上すると考えられる。本システムの汎用性を高めるために、現在、他施設に保育士のシフト管理方法についてのアンケート調査依頼をしている。

【参考文献】

- [1] 厚生労働省, 平成 29 年保育所等関連状況取りまとめ, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000176137.html>, (アクセス日 2020 年 6 月 30 日).
- [2] 厚生労働省, 平成 25 年社会福祉施設等調査の概況, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/fukushi/13/index.html>, (アクセス日 2020 年 6 月 30 日).
- [3] 東京都福祉保健局, 平成 26 年東京都保育士実態調査報告書, <http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2014/04/DATA/60o-4s201.pdf>, (アクセス日 2020 年 6 月 30 日).
- [4] 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*, Vol. 153, pp. 3–27 (2004).

- [5] J. Van den Bergh, J. Beliën and P.D. Bruecker, E. Demeulemeester, L.D. Boeck, Personnel scheduling: A literature review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, pp. 367–385 (2013).
- [6] M. Erhard, J. Schoenfelder, A. Fügner and J.O. Brunner, State of the art in physician scheduling, *European Journal of Operational Research*, Vol. 265, pp. 1–18 (2018).
- [7] M. Ito, A. Onishi, A. Suzuki, A. Imamura, T. Ito, Resident Scheduling Problem: A Case Study at Aichi Medical University Hospital, *Japan Industrial Management Association*, **68**(4E), 259–272 (2018).
- [8] H. Beaulieu, J.A. Ferland, B. Gendron, and P. Michelon, A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room, *Health Care Management Science*, Vol. 3, pp. 193–200 (2000).
- [9] R. Guevas, J.C. Ferrer, M. Klapp, J.C. Muñoz, A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling, *Journal of Scheduling*, Vol. 19, pp. 91–106 (2016).
- [10] J. Volland, A. Fügner, J.O. Brunner, A column generation approach for the integrated shift and task scheduling problem of logistic assistants in hospitals, *European Journal of Operational Research*, Vol. 260, pp. 316–334 (2017).
- [11] M. Ito, M. Hirao and H. Hamahara, A support system for nursery staff shift scheduling: A case study at a nursery school, *Journal of Information Processing*, Vol. 26, pp. 294–300 (2018).
- [12] M. Ito, M. Hirao, Shift Scheduling to Propose Improvement Plans for Staff Shortages: A Case Study of a Foster Home in Japan, *Proceedings of 2019 Asian Conference of Management Science & Applications*, pp. 199–203 (2019).
- [13] C.N. Gross, J.O. Brunner, M. Blobner, Hospital physicians can't get no long-term satisfaction: an indicator for fairness in preference fulfillment on duty schedules, *Health Care Management Science*, Vol. 22, pp. 691–708 (2019).
- [12] S. Mohan, Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 4, pp. 1806–1813 (2008).

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
シフト選好を考慮した保育士のシフトスケジューリング	日本経営工学会 2020 年秋季大会	2020 年 10 月
保育士の選好の公平性を考慮したシフトスケジューリング	日本オペレーションズ・リサーチ学会 2021 年春季研究発表会	2021 年 3 月
保育士のシフト選好と公平性: シフトスケジューリング問題	都市の OR スプリングセミナー 2021	2021 年 4 月
Nursery scheduling based on shift preference satisfaction	<i>Proceedings of International Symposium on Scheduling 2021</i>	2021 年 6 月
The nursery preferences and fairness: A shift scheduling problem	<i>The 22nd Conference of the International Federation of Operational Research Societies</i>	2021 年 8 月