

自動制約緩和手法を用いた ナース・スケジューリングシステムの提案

西川 理規 大和田 勇人

慢性的に人員不足である病院において、患者との距離が近い看護師の役割は非常に重要である。そのため、看護師の健康状態とサービスの質のバランスが取れた勤務表を作成することが必要不可欠である。しかし、病院の勤務体制や看護師のスキルや役割、要望などの非常に多くの制約を考慮しなければいけないため、勤務表を作成している看護師は時間と労力をかけて作成している現状にある。そこで本研究では、辞書式順序を用いた制約の選別・緩和を行う手法を使うことによって、制約に優先順位を付けながら短時間で勤務表を作成することが出来るシステムを提案する。また、勤務表の作成者とスケジューリングシステムがインタラクティブに情報のやり取りを行いながら勤務表を作成することが出来るシステムの実装を行う。

1 はじめに

医療現場では、人の命に関わるため、医療スタッフのサービスの質を低下させることは出来ない。特に、24 時間切目なく活動しなくてはならない看護師は、患者と接する機会も多いため、サービスの観点からも非常に重要な役割を担っている。よって、看護師の健康状態とサービスの質のバランスが取れた勤務表を作成する(ナース・スケジューリング)ことが必要不可欠である。しかし、各看護師のスキルや役割などを考慮しながら、各病院ごとに持つ勤務体制や業務の関係などの制約を全て満たすことは、非常に難しい。また、勤務表を作成する看護師にとっても、このような難しい制約を満たす勤務表を作成しなくてはならないため、時間と労力が非常にかかっている現実にある。

このような勤務表を作成する問題を解決するため

Nurse Scheduling System using Automatic Constraint Relaxation Method.

Riki Nishikawa, 東京理科大学大学院理工学研究科経営工学専攻, Dept. of Industrial Administration, Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science.

Hayato Ohwada, 東京理科大学工学部経営工学科, Dept. of Industrial Administration, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science.

に、現場に存在する制約条件を満たし、効率的に解を求められるようなスケジューリングアルゴリズムの研究が現在までにされてきている。例えば、制約プログラミング、数学的なアルゴリズムを使用した線形(整数)計画法、近似解を探索するメタヒューリスティックの 1 つである遺伝的アルゴリズムなどを使った手法が多く提案されている。

しかし、これまでにさまざまな手法が提案され、ソフトウェアが開発されている一方で、それがまだ広まらない、またはソフトウェアがあっても使われない現状にある。その理由の 1 つとして挙げられるのは、複雑な日本の医療環境にあると考えられる。現在の日本では、慢性的な人員不足であり、この状況下において、考慮しなくてはならない制約条件(人員不足を補うための制約など)が多数存在する。これによって、ソフトウェアが作成した勤務表がある特定の制約を満たしていない場合、手直しや改善をせざるおえない状況にあることがソフトウェアを使わない理由であると考えられる。

よって、これらの問題点から本論文では、病院に存在する制約条件をより多く満たすようにするために、重要である制約に優先順位を付けながら自動的に制約を選別し、その選別した制約から実際に現場で使える勤務表を作成するシステムを提案する。また、勤務

表の作成者とスケジューリングシステムがインタラクティブに情報のやり取りを行いながら勤務表を作成することが出来るシステムの実装を行う。

2 ナース・スケジューリング問題

2.1 ナース・スケジューリングモデル

実際の勤務表では、通常、各看護部署で作成されているが、看護師の人数も所属部署も固定されている(池上[1]) 対象部署の看護師の数を m (人)、対象期間を n (日) とすると、 $m \times n$ といったマトリクスに、日勤や夜勤などといったシフトを割り当てていくことになる。

また、勤務表作成において考慮する必要がある基本的な制約条件は、大きく分けて 5 つの条件を考慮に入れる必要がある。

- 毎日の各勤務(シフト)に必要な人数を確保すること
- スキルレベルなどを考慮して各勤務のメンバーを構成すること
- 各看護婦について各勤務の回数が決められた範囲であること
- セミナーなどその他の業務や休みの希望を達成すること
- 禁止される勤務シフトパターンを入れないこと

しかし、現実的にこれらの制約条件を全て満たすことは、非常に難しいため、ある程度は妥協したものにする必要がある。そこで、多数ある制約条件を、必ず守らなくてはならない制約条件(HARD 制約)と出来れば守りたい制約条件(SOFT 制約)の 2 つに分けることにより、制約を緩和させて、問題を解決する手法が広く提案されている。

2.2 関連研究

ナース・スケジューリング問題は、1960 年代から現在までに多くの論文でさまざまな分野からのアプローチが提案されてきている。例えば、数理計画などの数学的手法(長谷川 [2])、遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティックな手法(Uwe Aickelin. [3])、制約充足問題に当てはめて解く SAT 手法(S Kundu. [4])などが存在する。

また、制約プログラミングを使ったインタラクティブシステム INTERDIP が提案されている(Slim Abdennadher. [5]) このシステムは、論理プログラミングによってナース個人による制約を定義している点や各シフトを段階的に割り当てている点が特徴的であり、実際の病院に適用出来ることを目指している。

しかし、ナース・スケジューリングのシステムは、環境によって制約が違ってしまう場合がある。例えば、海外と日本で最も違う点は、「人手不足」である。日本は慢性的に人手不足であるため、それを補うための制約が他の国と比べても増えてしまうと考えられる。よって、INTERDIP のような海外で提案されているシステムを使ったとしても、効率が悪かったり、解が求められなかったりする場合がある。

これらの点からも、ナース・スケジューリングシステムでは、看護師や病院などの制約が非常に多いため、制約を選別するためのアプローチが必要になると考えられる。

3 ナース・スケジューリングシステム

本研究で実装するナース・スケジューリングシステムの全体的なアルゴリズムは、図 1 である。

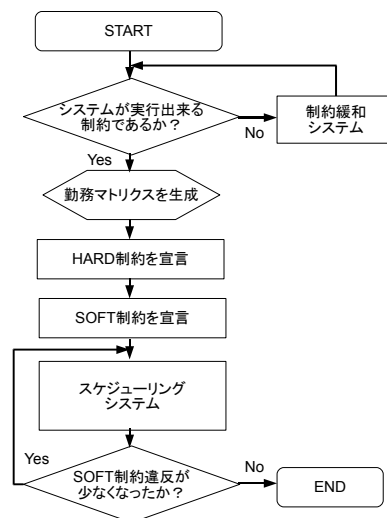


図 1 ナース・スケジューリングシステム

本論文では、制約論理プログラミングを使ったス

ケジューリング手法 (西川 [6]) と本論文で新たに追加する自動制約緩和手法を融合させたナース・スケジューリングシステムを提案する。西川が提案したスケジューリング手法は、INTERDIP システムでは考慮されていなかった各看護師のスキルや役割、可能なシフトなどの現場に存在する細かい制約を考慮している点と、それらの制約を SOFT 制約として宣言せずに探索に組み込むことによって制約を自動的に緩和させる点が特徴的である。この特徴によって、実際の病院で使うことが出来る勤務表を短時間で完成させることが可能となっている。また、制約を満たさなかった場合も対処 (代わりの制約を不可させるなど) されるため、勤務表を完成させた後の手直しなどの手間を省くことが可能である。

しかし、看護師から提出される希望シフトなどの月ごとに変更される制約は、手で制約の選別・緩和を行わなくてはならないという問題点がある。よって本論文では、追加される制約として挙げられる看護師が希望を出したシフトや再スケジューリング希望シフトに対して、制約の選別・緩和をさせる「自動制約緩和システム」を通した後に、「スケジューリングシステム」で勤務表へのシフトの割り当てを行い、最適な勤務表を完成させる。

3.1 自動制約緩和システム

3.1.1 変動する制約

現場には、数多くの種類の制約が存在する。例えば、「週の労働時間が 40 時間以内でなくてはならない」というような制約は病院側が既に設定している制約や「AさんとBさんのどちらかは必ず日勤である」というような制約は部署で働く看護師が決めている制約がある。

それらの制約には、あまり変更されない制約と頻繁に変更される制約の 2 パターンが存在する。あまり変更されない制約は、法律や病院側が既に設定している制約が多く、比較的制約の優先度は高い。一方で、頻繁に変更される制約は、看護師の特性に係る制約が多いため、制約の優先度が変わる場合がある。

この頻繁に変更される制約は勤務表作成に影響を及ぼすことがある。例えば、「月日は休み」という

ような月ごとに看護師が提出する希望シフトがこの制約に含まれるため、月によって希望シフトの量 (制約) が変動する場合があります、どの希望シフトを優先的に満たすべきかを考えることが非常に難しい。よって、この問題を対処するためには、それぞれの制約の優先度を決め、優先度が高い制約を満たしていくような対処法が必要になると考えられる。

そこで本論文では、あまり変更されない制約を病院側が設定した制約 (変動しない制約) とし、頻繁に変更される制約を看護師が決めている制約 (変動する制約) と定義する。

3.1.2 提案手法

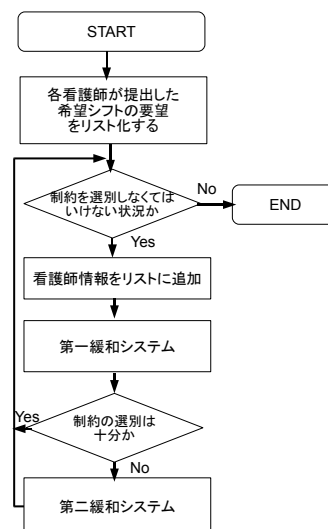


図 2 自動緩和システムのアルゴリズム

変動する制約である希望シフトの制約を選別する手法として、川上 ([8]) の提案した手法が存在する。この手法は、勤務表を作成する前に看護師の希望シフトに重み付けを行い、看護師の充足度とを比較しながら、制約緩和を行う。また、勤務表にシフトを割り当てる際にもやむを得ず満たせない制約の緩和を行っている。

しかし、この手法では看護師による重み付けや充足度の指標のみで制約の緩和を行っているのに対して、実際の現場ではその指標だけではなく過去の勤務状況であったり、役割、希望シフトの通過率などの指標

だけではなく、土日は制約の優先度が変化するなど状況に対処しなくてはならない場合がある。

よって本論文では、看護師の情報から希望シフトの制約を選別し、自動的に制約を緩和させる手法を提案する。図 2 は、本システムのアルゴリズムである。

まず看護師から提出された希望シフトを集め、日付順にリスト化する。そして、そのリストから制約緩和を行う必要があるかを調べ、必要無い場合はスケジューリングシステムを実行する。必要ある場合は、必要がある日付の希望シフトのリストに役割 (主任など)、休みの回数、優先度などの看護師情報を負荷させる。表 1 はその情報の一例である。

表 1 看護師情報

ナース番号	役割	シフト リクエスト	優先度 (ユーザ)	休みの数	リクエスト 通過率[%]	休日出勤 の数
1	主任	Rest	1	10	60	0
2	パート	Rest	2	12	70	3
3	病棟	Rest	1	9	50	3

そして、その情報から「第一緩和システム」によって、制約の緩和を行う。このシステムは、希望シフトの通過率や休みの数などの情報から平均を求めて全体の基準を作り、その基準を全て上回った場合 (通過率が高い・休みが多いなど) は制約の却下を行う。これは、看護師の公平性を保つためにも必要なプロセスであると考えられる。

さらに、この却下させた状態でも制約の緩和が必要であれば、「第二緩和システム」を実行する。このシステムは、第一緩和システムの結果だけではなく、それぞれの看護師の役割別に看護師が付けた優先度から制約の緩和を行う。優先的な制約にランクを付けるために、本論文では辞書式順序を用いる (Richard J. [9]) 辞書式順序とは、順序集合の直積集合上に順序を定める方法である。この手法を用いることによって、さまざまな状況によって看護師の各要素の優先度を変化させることが出来るため、より現場に合った制約緩和を行うことが出来ると考えられる。さらに、このプロセスによって、制約を緩和させるだけではなく、必要な人数の確保にも繋がると考えられる。

3.2 スケジューリングシステム

本論文では、制約論理プログラミングを使用したスケジューリング手法を用いる (西川 [6]) 図 3 は、その手法を組み込んだシステムのアルゴリズムである。

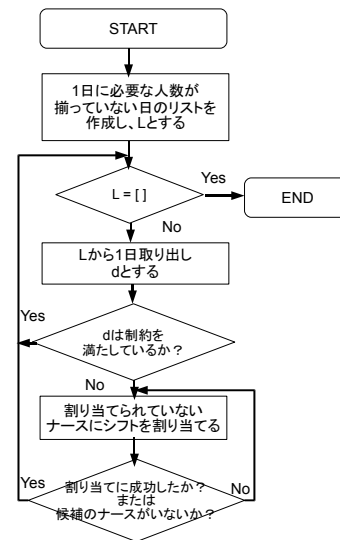


図 3 スケジューリングシステムのアルゴリズム

まず、図 1 で作成した勤務表マトリクスから各シフトごとの必要な人数が揃っていない日をリスト L に格納する。そのリストが空でない場合、リストの 1 番先頭の日にち情報 d を取り出す。

そして、この d に割り当てがされている看護師と割り当てされていない看護師をそれぞれリストに格納する。必要な制約が満たされているかを割り当てされている看護師のリストを調べ、満たされていない場合は割り当てを開始する。例えば、熟練者が 1 人必要であるという制約がある場合、割り当てされている看護師のリストを調べ、いない場合は制約が満たされていないことになるため、割り当てられていない看護師のリストから熟練者の候補者を選ぶ。この候補は、割り当てが少ない看護師が優先的に選ばれ、割り当てを行う。一方、候補の看護師がいなかった場合は、制約違反を無視し、処理を終了させる。

また、候補の看護師に割り当てを行う場合、シフトの並びや勤務数などで割り当てが失敗する場合がある。この場合は、再び候補を選び、割り当てを行う。



図 4 NRoster システムのトップ画面

Nurse No.	10 (Fri)	11 (Sat)	12 (Sun)	13 (Mon)	14 (Tue)	15 (Wed)	16 (Thu)	17 (Fri)	18 (Sat)	19 (Sun)	20 (Mon)	21 (Tue)	22 (Wed)	23 (Thu)	24 (Fri)	25 (Sat)
1	Day	Rest	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Rest	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Rest
2	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Rest	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Day	Day	Rest
3	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Rest	Rest	Day	Day	Day	Day	Day	Day	Rest
4	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Rest	Day	Day	Rest	Rest	Day	Day	Day	Day	Day	Rest
5	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Night	/	Rest	Rest	Day	Rest	Day	Day	Day	Day
6	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Rest	Day	Day	Rest	Day	Rest	Day	Day	Day	Day	Rest
7	Day	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Rest	Day	Day	Rest	Day	Day	Day	Day	/
8	Rest	Rest	Rest	Rest	Day	Day	Day	Day	Rest	Rest	Day	Night	/	Day	Day	Rest
9	Day (1-4)	Rest	Day	Rest	Day	Day	Day	Rest	Rest	Rest	Day (3)	Day (1-4)	Night (3)	/	Day (1-4)	Rest
10	Day (3)	Day	Rest	Rest	Day	Night (3)	/	Day (1-4)	Rest	Rest	Day (3)	Day (1-4)	Night (3)	/	Rest	Rest
11	Rest	/	Rest	Rest	Rest	Day	Rest	Day	Night	/	Day	Rest	Day	Day	Day	Rest

図 5 NRoster システムによる勤務表



図 6 看護師の希望シフト提出画面

月分	日付	ナース No.	年	シフト
1	1/3	3	2008	Rest
1	1/5	3	2008	Rest
1	1/7	3	2008	Rest
1	1/8	10	2008	Rest

図 7 希望シフトの集計画面

これにより、制約を緩和させながら割り当てを行うため、探索時間の短縮とより制約を満たす勤務表を完成させることが可能となる。

そして、このアルゴリズムから完成された勤務表から SOFT 制約違反が小さい解を選び、処理を終了させる。

4 実装

実際に使用されることを想定する場合、ナース・スケジューリングシステムは完成された勤務表を簡単に共有させたり、希望シフトなどの情報をやり取りをする処理を考慮しなくてはならない。その処理を考慮し、勤務表作成者とその他の看護師とのインタラクティブなやり取りが可能であるのは、Web であると考えられる。よって本論文では、Web をベースにしたナース・スケジューリングシステム NRoster の実装を行う。

本システムは、スケジューリングシステムを Pro-

log ベースである ECLiPse(Krzysztof R. [7]) で実装し、自動緩和システムを Java で実装する。そして、ECLiPse と Java を連結させ、tomcat によって Web システムを実装する。また、看護師の登録データなどで用いるデータベースは、MySQL を使用している。

図 4、5、6、7 は、これまでに実装している NRoster の画面の一部である。

NRoster は、「勤務表を作成者のためのメニュー」と「勤務表を見る人(その他の看護師)のためのメニュー」の 2 つに分かれている。図 4 では、勤務表作成者用の画面である。勤務表作成者用のサイドメニューは勤務表を作成したり、制約の情報を確認・修正、さらに図 7 で示しているように集められた希望シフトを制約緩和するシステムなどが利用出来る。また勤務表を見る人用のサイドメニューは、図 5 のような作成された勤務表を見ることが出来たり、図 6 のように希望シフトを提出することが出来る。

このように、完成させた勤務表を自由に見ることが

簡単に出来たり、その勤務表に対してリクエストを追加出来たり (再スケジューリング希望) するなど、勤務表作成者と看護師がインタラクティブにやり取りが出来るシステムであると考えられる。

5 まとめと今後の課題

本論文では、自動的に制約を緩和させるシステムとスケジューリングシステムを融合させたシステムの提案を行った。自動制約緩和システムでは、看護師の設定した優先度だけではなく、過去の勤務状況や希望の通過率などを使った指標や辞書式順序で制約の選別・緩和を行う手法を組み込むことによって、制約の選別を行うという手間を軽減させることが出来ると考えられる。また、スケジューリングシステムでは、制約を緩和させながらシフトの割り当てを行うため、短時間に実際に現場で使える勤務表が作成が可能である。この 2 つのシステムが合わさることによって、現場で実際に使える勤務表が出来ると考えられる。

また今後の展望としては、「システムの完成」と「制約緩和の評価」の 2 点がある。「システムの完成」では、インタラクティブなシステムを考慮しなくてはならない。勤務表の作成をするためのデータの流れを考慮しながら、実際に使ってもらうユーザのためのインターフェースを構築する必要がある。また「制約緩和の評価」では、あらゆる場合において、制約緩和が行われるのかを検証する一方で、制約の選別を行うため

の数学的計算の手法との比較を行う必要があると考えられる。

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, 2 号, 2005, pp. 231-259 .
- [2] 長谷川 精也: IP-based Local Search によるナーススケジューリング問題の近似解法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89, No.10, 2006, pp. 2251-2259.
- [3] Uwe Aickelin, Kathryn A. Dowsland: An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem, Computers Operations Research, Volume 31, Issue 5, 2004, pp. 761-778.
- [4] S Kundu, S Acharyya: A SAT approach for solving the nurse scheduling problem, IEEE, Hyderabad, 2008, pp. 1-6.
- [5] Slim Abdennadher, Hans Schlenker: INTERDIP- An Interactive Constraint Based Nurse Scheduler, PACLP99, London, 1999.
- [6] 西川 理規, 松井 藤五郎, 大和田 勇人: CLP を用いたナース・スケジューリング問題における実用解の効率的探索, 第 23 回人工知能学会, 高松, 2009.
- [7] Krzysztof R. and Mark G. Wallace: Constraint Logic Programming using ECLiPSe, CAMBRIDGE, 2007.
- [8] 川上 貴史: 局所的制約緩和によるナーススケジューリング手法の提案, 東京理科大学大学院理工学研究科経営工学専攻修士論文, 2009(未公開).
- [9] Richard J. Wallace, Nic Wilson: Conditional lexicographic orders in constraint satisfaction problems, Annals of Operations Research, Volume 171, Number 1, pp. 3-25, 2009.