

# 安定した再スケジュールリングが可能な 看護師勤務スケジュール管理支援システムの実装

An implementation of that has a stable re-scheduling function  
nurse work schedule management support system

山口翁央\*<sup>1</sup> 伊藤孝行\*<sup>1</sup> 新谷虎松\*<sup>1</sup>  
Toshihiro Yamaguchi Takayuki Ito Toramatsu Shintani

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学 大学院工学研究科 情報工学専攻

Dept. of Computer Science and Engineering Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

We present a nurse work schedule management support system that has a stable re-scheduling function. In general, we have to consider several conditions to create nurse work schedules since the schedule needs to satisfy nurses' individual requests. In this research, in order to make nurse work schedule, we define Dynamic Valued Constraint Satisfaction Problem (DyVCSP). By clarifying constraints of the schedule, we can apply method for solving DyVCSP to this system. When one nurse suddenly have to change his/her schedule, the existing system generates completely new solutions with re-scheduling. In the real world, completely different schedules cannot be accepted to the other nurses. Thus, in our system, we can obtain solutions that carefully considered the previous schedule. This stable re-scheduling is realized by method for solving DyVCSP. The current experiments demonstrate that our method can effectively realize stable nurse re-scheduling.

## 1. はじめに

看護師勤務スケジュール管理を支援する様々なシステムが提案されている。例えば、人手で作成した勤務スケジュールに対し、連続勤務や法律により禁止されている勤務パターンなどをチェックするシステムや、勤務シフトを自動で作成するシステムが存在する。また、看護師の勤務スケジュール作成支援に関して、基本となる看護師の情報だけでなく、託児所の休日等を考慮したシステム、メンバーのグループ分けや、個人の技術レベルおよびその組み合わせなどを考慮するものが提案されている [1]。以上のシステムは、看護師の勤務スケジュールを効率的に作成する。しかし、急な変更があった場合、勤務スケジュールすべてを変更する必要がある、1人の看護師の変更が多くの看護師に影響を与えてしまう。そこで、本論文は、かんごしの勤務スケジュールを効率的に作成し、かつその後の再スケジュールリングにおいて、変更の影響がなるべく小さくなるようなシステムを実装する。

スケジュールリングを解く方法として、現在までに、数理計画法、シミュレーション、制約理論、メタヒューリスティックなどの様々な手法が提案されている。しかし、以上の手法では再スケジュールリングに関して考慮されたシステムは少ない。本稿では、再スケジュールリングにおいて安定した解を求めるために、動的重み付き制約充足問題 (Dynamic Valued Constraint Satisfaction Problem : DyVCSP) として定式化する。看護師勤務スケジュール作成における条件を制約として表現することで、DyVCSPへ適用することができる。また、再スケジュールを動的に変化していく問題として捉え、安定した解を得ること自体を制約として加えることによって、再スケジュールリングした際に以前のスケジュールと全く異なった解の生成をなくすことを可能とする。

本稿の構成を以下に示す。2章では、看護師の勤務スケジュー

ルを作成する際における問題を明確にし、本稿における、勤務スケジュール作成のための条件を定義する。3章では、本システムにおけるスケジュールリングについて述べ、4章では、実装した看護師勤務スケジュール管理支援システムについて述べる。5章では、本システムの試用・評価について示し、最後に本研究についてまとめる。

## 2. 看護師勤務スケジュール作成問題

### 2.1 看護師勤務スケジュール

看護師の勤務スケジュール作成問題は、看護師を各日付に関してそれぞれに適切な勤務シフトを割り当てる問題であり、最適化問題の一種である。看護師の勤務形態には、1日を大きく3つの勤務に分けた3交替制と2つの勤務にわたる2交替制がある。本論文では3交替制を用いることとする。3交替制の勤務スケジュール作成問題においては、勤務シフトを日勤、準夜勤、および深夜勤に分け、各日付に対して看護師ごとに割り当てられる。勤務スケジュールは図1に示すような構成をもつ。勤務スケジュール中では行に看護師を示すID、列には日付が対応している。各セルにはそれぞれ、“日”を日勤、“準”を準夜勤、“深”を深夜勤、“休”を休日として値を割り当てる。

### 2.2 勤務スケジュール作成の条件

看護師勤務スケジュールリング問題の複雑さは、現実における看護師の不足によるもの以外に、勤務スケジュール作成において考慮されるべき条件が厳しいことが主な原因の1つとして挙げられる。本論文では、文献 [2] に従い、勤務スケジュール作成において各勤務シフトを割り当てる際に考慮する条件として以下の5つの条件を用いる。

#### (条件1) 毎日の各勤務において必要な人数を確保

日勤、準夜勤および夜勤のいずれの勤務においても職務に必要な最低限の人数に満たない状態で勤務スケジュールが作成されることがあってはならない。

#### (条件2) 技術レベルなどを考慮し勤務メンバーを構成

経験の少ない新人のみで勤務シフトを組むことが適していないことは言うまでもなく、看護師の人数が不足する状況で経

連絡先: 山口翁央, 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻新谷研究室, 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 電話番号 052-735-7968, Fax 052-735-5477, okina@ics.nitech.ac.jp

図 1: 看護師勤務スケジュール

豊富な看護師が同一シフトに偏ってしまっはいけない。

**(条件 3) 看護師の各勤務回数は決められた範囲である**

特に休日の日数や夜勤の回数に関して重要であるが、日勤及び準夜勤も含めてすべてのシフト数が各看護師間で平等であることが望ましい。

**(条件 4) 他の業務や休みの希望を達成**

上述の回数に関する条件のみでなく、ある特定の日付において休日の希望や特定の勤務シフトが指定される場合には、これを満たす必要がある。

**(条件 5) 禁止される勤務パターンを入れない**

具体的には、3 交替制の場合の絶対に許可されないパターンとして、「深夜勤務後の日勤」「深夜勤務後の準夜勤」「準夜勤務後の日勤」「3 連続深夜勤」などが挙げられる。この他にも、発生することが好ましくないパターンとして、「4 連続準夜勤」「5 連続日勤」「1 回だけの孤立した深夜勤」

以上の 5 つの条件をすべて満たすことは現実には困難であり、多くの場合、すべての条件を満たす解が存在しない過剰な問題となる。そこで、上述の条件のうち必ず満たすべき条件のみを拘束条件とし、満たすことが望ましい条件を達成目標として区別する必要がある。拘束条件としては法律で定められているものや病院単位で定められているルールなどが与えられる。例えば、労働時間に関する制限や、条件 5 で禁止される勤務パターンの一部は拘束条件にあたる。達成目標は、条件 3 である看護師間での負担の差を無くすための条件や、禁止まではされていないが、組織などで満たすことが推奨されている条件などがあたる。条件 4 の看護師個人の要望なども達成目標にあたり、条件ごとに重要度が異なることが特徴としてあげられる。看護師勤務スケジュールリングの目標は、達成目標を可能な限り充足することのできるスケジュールを作成することである。

**3. 看護師勤務スケジュール管理支援システム**

**3.1 動的重み付き制約充足問題に基づく安定した再スケジュールリング**

本研究では、動的重み付き制約充足問題 (Dynamic Valued Constraint Satisfaction Problem : DyVCSP) に基づき看護師勤務スケジュール管理の解決を試みる。

DyVCSP は通常の重み付き制約充足問題 (Valued Constraint Satisfaction Problem : VCSP)[5] の列として表され

る。それぞれの VCSP は、1 つ前の VCSP に対して制約の付加あるいは削除などにより変更を加えたものになる。

DyVCSP は以下のように定義される。

$$P = \{VP_0, VP_1, \dots, VP_i, \dots\} \quad (1)$$

$P$  は DyVCSP を表す。  $VP_i$  が構造  $VP_i = (X_i, D_i, C_i, S, \varphi)$  を持つ通常の VCSP であり、それぞれの  $VP_{i+1}$  は  $VP_i$  に対して変化を加えたものとなる。それぞれの  $VP_i$  の変化は通常の動的制約充足問題 (Dynamic Constraint Satisfaction Problem : DyCSP)[3] の場合と同じく、変数、値域および制約に関する変化が考えられる。ここで、評価構造および評価関数はすべての  $VP_i$  を通して一定であり、解を評価するための基準は不変であるものとする。

DyVCSP を構成する各 VCSP は、  $VP_i = (X_i, D_i, C_i, S, \varphi)$  の構造を持つ。  $(X_i, D_i, C_i)$  は時刻毎の変化を考慮している点を除けば通常の CSP と同じく、  $X_i$  が時刻  $i$  における VCSP の変数、  $D_i$  は同時刻における VCSP の値域および  $C_i$  は時刻  $i$  の VCSP に対して与えられている制約の集合である。  $S = (E, \otimes, \succ)$  は評価構造であり、通常の VCSP と同様である。また  $\varphi : C_i \rightarrow E$  は評価関数であり、こちらも通常の VCSP と同様に定義できる。すなわち、  $E$  は問題で使用する評価値の集合であり、最小値と最大値をそれぞれ  $\perp$  と  $\top$  とする。また  $E$  の全要素には  $\succ$  によって順序関係が定義される。そして各制約による評価値が  $\varphi$  によって得られる。  $\otimes$  は異なる制約のコストを連結するオペレータである。

以上のことから、全変数への割り当て  $\mathcal{A}$  に関して、制約  $c$  による  $\mathcal{A}$  の評価値、および全ての制約を考慮した場合の割り当ての評価値は、VCSP の評価について時刻を考慮する点でのみ異なる。すなわち、時刻  $i$  における各評価値は次のように求められる。

$$\varphi(\mathcal{A}, c \in C_i) = \begin{cases} \perp & \text{if } c \text{ is satisfied by } \mathcal{A} \\ \varphi(c) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi(\mathcal{A}) = \otimes_{c \in C_i} \varphi(\mathcal{A}, c). \quad (3)$$

と表す。

**3.2 再スケジュール作成手順**

本研究では解の安定性を得るため、VCSP の特長を活かす。制約に解の安定性を得ること自体を加えることで、一時的に問題を変更する。具体的には、ある看護師に急用が発生したとき、対応する日程に休日が割り当てるという制約が制約集合に追加される。制約が追加されることで VCSP の問題  $VP_i$  が問題  $VP_{i+1}$  に変化する。安定して解を得るために、本論文で提案する看護師勤務スケジュール管理システムでは、次の Step1 から Step4 の手順に従い問題  $VP_{i+1}$  の解を求める。

**Step 1:**

新たに追加された制約  $C_{new}$  を  $VP_i$  に追加し  $VP_{i+1}$  とする。制約  $C_{new}$  は時刻  $i$  においては存在しておらず、時刻  $i+1$  におけるスケジュールを求めるにあたって新たに追加される制約を表す。

**Step 2:**

全ての変数に関して、前回の結果と同一であるという制約  $C_{tmp}$  を、  $VP_{i+1}$  に追加し、  $VP'_{i+1}$  とする。また、再スケジュールリング時から過去の値は変更できない。制約  $C_{tmp}$  のコストは Step1 で加えられた制約  $C_{new}$  のコストを越えることはないものとする。

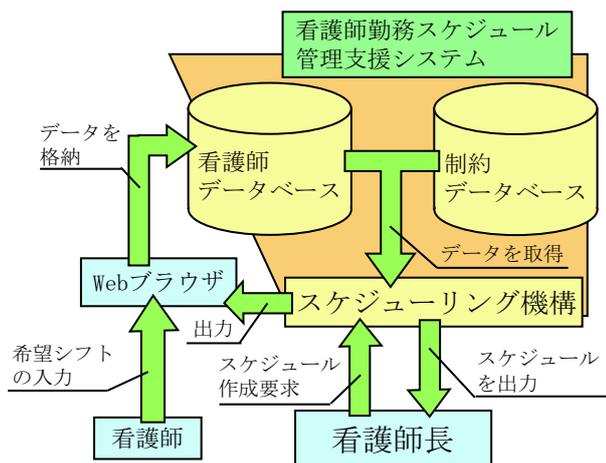


図 2: システム構成図

**Step 3:**

Step2 の制約が追加された問題  $VP'_{i+1}$  を stochastic hill climbing [4] により解決する。解の安定性は Step2 の制約により保証されるため、問題  $VP'_{i+1}$  を最初から解きなおすことでも変更の割合が小さい解を得ることができる。

**Step 4:**

安定性を得るために追加された制約  $C_{tmp}$  のうち、満たされた制約全てを CSP から削除する。後の状況の変化に備え、問題を  $VP'_{i+1}$  から  $VP_{i+1}$  へと戻す。

一般的な DyCSP の解決手法と大きく異なる点は、解の安定性を得るために CSP の解決アルゴリズムを工夫するのではなく、問題そのものにさらに変更を加えたことにある。つまり、Step1 で制約  $C_{new}$  を追加することによって変化した問題  $VP_{i+1}$  に、Step2 でさらに制約  $C_{tmp}$  を加え、解くことで安定性も満たすことが保証される問題  $VP'_{i+1}$  へと一時的に再度変換している。本システムで処理する VCSP の列は式 (4) のようになる：

$$P = \{VP_0, VP'_1, VP_1, \dots, VP_i, VP'_{i+1}, VP_{i+1}, \dots\} \quad (4)$$

#### 4. 看護師勤務スケジュール管理支援システムの実装

本システムの構成図を図 2 に示す。本システムは、看護師の希望勤務シフトを格納する看護師データベース、看護師勤務スケジュール作成に伴う制約を格納する制約データベース、および DyVCSP を用いてスケジュールを作成するスケジューリング機構がある。

本システムでは、看護師長がスケジュールを管理し、他の看護師は Web ブラウザを介して勤務シフトを入力してもらう。入力する際、勤務シフトに、変更のできない日、なるべく変更してほしくない日などを重要度を利用して入力してもらう。重要度は 1～5 で評価し、1 が重要度の低い勤務日であり、5 へ近づくほど重要度の高い勤務日となる。変更できない日は、変更できない理由とともに入力する必要がある。看護師長は収集された情報をもとにしてスケジュールを作成する。作成されたスケジュールは各看護師に返信され、図 1 のように表示される。また、Web ページとして出力され、Web 上からでも表示可能である。

#### 看護師データベース

看護師データベースは Web ブラウザから看護師が入力したデータを格納する。看護師データベースにあるデータをすべて見ることができるのは看護師長だけである。図 1 中の看護師名を選択することで、対象の看護師のデータを閲覧可能である。

#### 制約データベース

制約データベースは、看護師勤務スケジュールを作成する際の条件を格納している。制約データベースにおける制約は、各勤務シフトをそれぞれ、"0" を休日、"1" を日勤、"2" を準夜勤、"3" を深夜勤として表現している。DyVCSP に適用するために制約データベースにおける制約の表現方法について述べる。制約は  $limit(min, max, List, w)$  の形で記述する。全変数への割り当ての集合  $A_i$  が  $List$  と一致する要素数の下限  $min$  と上限  $max$  を定めており、重み  $w$  が付加されている。例えば、制約  $limit(0, 3, [x_{s1} = 3, x_{s2} = 3, x_{s3} = 3, \dots, x_{sn} = 3], 6)$  は、看護師  $s$  の夜勤の回数が 3 回以下とする重み 6 の制約である。本記述方法により原則的には全ての制約を表すことが可能である。しかし、禁止される勤務パターンを指定する制約など、実際には記述が煩雑になるため看護師勤務スケジュール管理で一般的に用いられる制約に関してはそれぞれに特化した方法で記述する。

#### スケジューリング機構

スケジューリング機構は DyVCSP を用いて看護師勤務スケジュール作成する。スケジューリング機構は、まず看護師データベースから看護師に関する情報を取得する。看護師データを制約データベースと結びつけるため、"休日"を 0、"日勤"を 1、"準夜勤"を 2、"深夜勤"を 3 と変換する。次に、看護師勤務スケジュール管理問題を DyVCSP に適用するために、まず時刻  $i$  における単体の VCSP を構成する要素のうち  $(X_i, D_i, C_i)$  をそれぞれ次のように定める。変数の集合  $X_i$  の要素は、各日付における各看護師の予定を表すものとする。すなわち、図 1 に示した勤務スケジュールのセルに対応する。具体的には変数  $x_{st} \in X_i$  は看護師  $s$  の  $t$  日の予定を意味する。変数の値域集合  $D$  の要素は各変数毎に定義されることも可能であるが、看護師勤務スケジュール管理においてはその必要は無く、全変数に共通で、 $d_{st} = 0, 1, 2, 3 \in D_i$  である。それぞれ、"0"が休日、"1"が日勤、"2"が夜勤、"3"が深夜勤に対応する。勤務シフトを表す値とインターフェース上での記号との対応は"0"が"休"、"1"が"日"、"2"が"準"、"3"が"深"となる。

変更が起こるたびに再スケジューリングを行うのでは、効率が悪く、看護師にとっても非常に大変である。本システムの再スケジュールは、一日一度再スケジューリングを行う。看護師データベースを一日に一度更新されているかを確認し、更新されていれば、再スケジューリングする。

本システムでは、看護師の希望した予定が勤務スケジュール作成により得られた勤務スケジュールと比較して、希望が満たされているセルに関しては赤いセルで表現している。また、あらかじめ変更することができないとわかっている予定は、セルを緑色に変えることによって勤務スケジュール中に表している。黄色に塗られているセルは、再スケジューリングを行うことによって、変更されたセルを表している。図 1 の勤務スケジュールには"作成"、"再作成"、"戻る"、"進む"、"追

図 3: 再スケジューリングの例

加”, ”削除”, ”全削除” ボタンがある. ”作成” ボタンは新たにスケジュールを作成し, ”再作成” は現在のスケジュールの値を反映したスケジュールを再度作成する. ”戻る”, ”進む” ボタンは勤務スケジュールを編集する際に, 前にもどったり, 次に進んだりすることを可能とする. ”追加” ボタンは看護師を追加し, ”削除” ボタンは選択中の看護師を削除する. ”全削除” ボタンはすべてのスケジュールデータを消去する. また, 勤務シフトの各値ごとにセルの色を変えて表示することができ, 勤務スケジュールを確認するとき有効な機能である.

## 5. 試用・評価

### 5.1 試用概要

本システムの有用性を示すため, 以下の条件の下で実験を行った. スケジュール作成期間を 2 週間, 人数を 11 人とする. 本システムの勤務スケジュールは技術レベルが等しい看護師のみを扱うものとし, 各日程に対し, 日勤, 準夜勤および深夜勤に必要な人数を要求する. 以下の条件を表す制約のもとで勤務スケジュールを作成した.

#### 必ず満たすべき条件 (拘束条件)

1 日の各勤務に必要な人数をみたすこと (日勤: 3~6 人, 準夜勤: 2~4 人, 深夜勤: 1~3 人). 禁止パターンとして, ”深夜勤後の日勤”, ”深夜勤後の準夜勤”, ”準夜勤後の日勤”, および”3 連続深夜勤”.

#### 満たすことが望ましい条件 (達成条件)

看護師の各勤務回数および休日の日数に関する条件 (日勤および準夜勤 2 日以上, 深夜勤 4 日以内, 休日 2~4 日). スケジューリングの対象期間が 2 週間であり, 月間の勤務回数は以後の週で調整可能である. すなわち, 必ず満たされる必要はない. また, 無いこと望ましい勤務パターンとしては”4 連続夜勤”, ”5 連続日勤”, ”前後が休日となる勤務”を同様に扱う.

ある特定の看護師に緊急の変更要請がある場合を仮定し再スケジューリングを行う. 変更を要求する制約は, 変数はランダムに選択し, その値となる勤務シフトは, 現在とは異なる値をランダム指定する.

### 5.2 結果と考察

図 3 は図 1 を再スケジュールした後の看護師勤務スケジュールの例である. 図 3 の例では, Nurse7 が 11 日を日勤に, 14

表 1: 試行結果

試行回数	変更数	変更率 1 (%)	変更率 2 (%)
1	2	5.8%	60.3
2	2	7.1%	58.5
3	1	3.8%	65.1
4	3	9.7%	62.2
5	2	6.6%	57.9

日を休みに変更し, 再スケジューリングを行った際の結果である. 変更された勤務シフトは 9 つであり, 全体の約 6 %である. 表 1 に試行結果を示す. 表中における試行回数とは, n 回目の実験を表し, 変更数とは, スケジューリング後に, 再スケジュールを必要とするランダムで生成されたある看護師の勤務シフトの変更数である. 変更率は, 再スケジューリング後の変更されたセル数/すべてのセル数と定義する. 変更率 1 は, 本システムの再スケジューリング機能を用いて再スケジュールを行った結果であり, 変更率 2 は新たにスケジューリングした場合の結果である.

新たにスケジューリングを行う場合は, 以前のスケジュールを考慮しないため, 全く異なったスケジュールを作成する可能性がある. 本研究では, 安定した解を考慮することで, 普通の方法では約 6 割ほど変更されてしまうのに対し, 変更率を約 1 割程度に収めることができた. 本システムは, 再スケジューリングによる結果, 以前のスケジュールと多少異なるだけであり, 大幅な変更はないため, スケジュール管理に非常に有効である.

## 6. おわりに

安定した再スケジューリング可能な看護師勤務スケジュール管理支援システムを実装した. 安定した解を得るために, 本研究では DyVCSP を用いた. 看護師勤務スケジュール作成における条件を制約にして DyVCSP に適用することで, 安定したスケジュールを提供することが可能になり, また, 看護師の要望をできる限り応じることが可能なスケジュール管理支援システムを提供できた.

## 参考文献

- [1] S. Abdennadher and H. Schlenker, ”Nurse Scheduling using Constraint Logic Programming”, *Eleventh Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, IAAI-99, 1999.
- [2] 池上 敦子, 丹羽 明, 大倉 元宏, ”我が国におけるナース・スケジューリング問題”, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.41, No.8, pp. 436-442, 1996.
- [3] Dechter, R., and Dechter, A., ”Belief Maintenance in Dynamic Constraint Networks”, *In Proc. of AAAI-88*, 37-42, 1988.
- [4] P. V. Hentenryck, and T. L. Provost, ”Incremental Search in Constraint Logic Programming”, *New Generation Computing*, Vol. 9 : 257-275, 1991.
- [5] T. Schiex, H. Fargier, and G. Verfaillie, ”Valued constraint satisfaction problems: Hard and easy problems”, in *Proc. of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, 631-637, 1995.