

# バイナリーニューラルネットによる ナース・スケジューリング問題の基本解の導出

金川 明 弘<sup>†</sup> 山根 千 佳<sup>††</sup> 高橋 浩 光<sup>†</sup>

ナース・スケジューリング問題 (NSP) とは、ある程度の規模を持つ病院・病棟において、日ごとの看護師の人数やメンバ構成の条件を満たしたうえで、各看護師の勤務日、勤務シフトの数などにおける公平さを考慮した全看護師の日ごとの勤務表を作成することである。この勤務表は、通常部長によって作成されるが、毎日の各勤務に支障を起こさないための条件や、各看護師の勤務負荷を考慮するための条件は多く、これらの要因を同時に満足する勤務表を作成することは非常に労力を要する。従来からこのスケジュール解を得るための手段として SA や GA による解法が研究されているが、組合せ最適化問題によく用いられるホップフィールド型のニューラルネットのこの問題に対する適用例は少ない。本論文では、3D 構造を持つホップフィールド型バイナリーニューラルネットを用いて、3 交代 NSP の基本解を得る方法を提案する。

## Basic Solutions of Nurse Scheduling Problem Using 3D-Structured Binary Neural Networks

AKIHIRO KANAGAWA,<sup>†</sup> CHIKA YAMANE<sup>††</sup>  
and HIROMITSU TAKAHASHI<sup>†</sup>

The nurse scheduling problem (NSP) is to allocate nurses to different work shifts so as to ensure high quality services to the patients, and well-balanced workload. Formerly, a head nurse had to spend much time to make out a satisfying allocation table of nurses. In this paper, we propose a new procedure for solutions which satisfies the indispensable requirements of NSP. We use Hopfield neural network with binary neurons whose output states take values either 0 or 1. Many combinatorial optimization problems, such as Traveling Salesman Problem, are solved by plane structured neural networks. It is, however, difficult to apply to NSP, because the NSP table requires three-dimensional allocation. Then, we attempt to extend the plane structured neural network to one which has three dimensional structure for applying to NSP. We have some scheduling results of which constraints are limited to basic requirements.

### 1. はじめに

ナース・スケジューリング問題 (Nurse Scheduling Problem: NSP) は、ある程度の規模を持つ病院において、全看護師 (旧称看護婦) の勤務日程表を作成する問題である。この勤務表は、主に月単位で作成されるが、適切な作成に関して非常な労力を要する<sup>1),2)</sup>。すなわち、看護師の勤務形態が日勤、準夜勤、深夜勤の3つあり、それぞれ日ごとに日勤何名以上、準夜勤、深夜勤何名以上の勤務が必要であるという、いわば医

療体制としての要請がある。また、これら3つの勤務シフトが、月を通してどの看護師もなるべく同数のシフトを課すべきであるという、労働保証を行う必要がある。これらの要素に加え、指定休日、看護師の負担になるようなシフトの並びを禁止する禁止パターン、医療的過誤の発生を避けるためのスキル別編成などの項目を考慮した勤務表を作成することは人間にとっては難題であり、この作成にあたる師長の長年にわたる勤務上の負担は過大なものとなる。よってこの問題に関し、計算機によりこの勤務表を作製する方法が早くから検討された。池上<sup>3),4)</sup> は、NSP に対し、数理計画法により定式化を試み、また2交代制のNSPに対する解法を提案している。また、シミュレーテッド・アニーリングや遺伝的アルゴリズムによる研究<sup>5)~7)</sup> が活発に行われている。これに対し、ニューラルネット

<sup>†</sup> 岡山県立大学情報工学部

Faculty of Computer Science and System Engineering,  
Okayama Prefectural University

<sup>††</sup> 株式会社ニューメディア総研

NewMedia Research Institute Co., Ltd

ワークによる解法は皆無に近い。これは従来のホップフィールド型ニューラルネットワークでは、NSP に関するエネルギー関数の設定と、ニューロンの収束に問題があったことに起因する。ところが近年、バイナリニューロンを用いて、種々の割当て問題が有効に解決できることが報告されてきた<sup>8),9)</sup>。そこで本論文では、バイナリニューロンによるニューラルネットワークを 3 次元構成に拡張し、このモデルをもちいて NSP の基本解を自動的に生成する方法について提案する。

## 2. ナース・スケジューリング問題の基本解

ナース・スケジューリング問題 (NSP) とは、先述したようにある程度の規模を持つ病院・病棟において、看護師の勤務体制に 3 交替制もしくは 2 交替制をとっている場合、それぞれの看護師の日ごとの勤務状態を決定する問題である。看護師の勤務としては、3 交替制の場合、勤務時間が 8:00~16:00 の日勤 (day-shift: 以下 D), 16:00~23:00 の準夜勤 (evening-shift: 以下 E), 23:00~8:00 の深夜勤 (night-shift: 以下 N), 非番 (off-duty: 以下  $\_$ ) などが考えられる。これらの勤務について、各看護師が 1 日にどれか 1 つの勤務シフトを受け持つとして、スケジュール期間分 (たいていは 1 カ月) の勤務表を作成する。ここで、いくつか考慮しなければならない条件が存在する。

条件の要素としては、看護師の人数、スケジュール期間 (日数)、勤務シフトの数に始まり、スキルレベルやチーム構成などによるグループ化、毎日の各勤務シフトに必要な看護師数と各グループからの人数の上限と下限などの病院の業務に関わるもの、各看護師の各勤務シフトに対する回数の上限と下限、休日希望日の実現など、各看護師間での公平化に関するもの、そして深夜勤の翌日に日勤を割り当てるなど、好ましくないパターンである禁止パターンなどがあげられる。池上<sup>1)</sup> は、病棟看護師勤務表を作成している師長・主任の計 40 人に対してアンケート調査を行っている。これによると、3 交替制を採用しているところが 34、2 交替制が 6、勤務表作成はいずれも 1 カ月単位で、対象看護師数は平均 24.3 人であった。また、勤務表作成の作業そのものについては、いずれも心労の多い、難しい仕事であると回答が得られている。よって、わが国における NSP を考えたとき、1 カ月単位で、3 交替制、看護師人数は 20 人前後の規模を考えればよいことが分かる。

近年こういった制約充足型組合せ最適化問題の有効な解法として、GA (遺伝的アルゴリズム)、SA (シミュレーテッド・アニーリング)、TS (タブー・サー

表 1 NSP 基本解における制約条件  
Table 1 Constraints for NSP basic solutions.

制約条件分類	制約条件の内容
日ごとの制約	日勤者=必要日勤者数 $\pm 1$ 深夜勤務者数=必要深夜勤務者数 $\pm 1$ 準夜勤務者数=必要準夜勤務者数 $\pm 1$
スケジューリング期間を通しての制約	各看護師における労働負荷の可能な限りの公平化

チ) などが研究されている。

これらの方法は、優れた求解能力を有しているものの、各手法のパラメータやコーディング (交叉法、突然変異率の設定、クーリングの設定) にデリケートな調整を必要とする。

本論文でのこれらのメタ解法への立場を述べると、スケジューリングに対する細かい要求や、多くの制約を考慮する場合、GA, SA, TS といった手法が有効であろうと考える。しかしながら、NSP として基本的制約が満足されていれば、特別なパラメータ設定やコーディングを必要とせず、短時間のうちに NSP の解が得られる方法は実用上、有用な意味を持つと考える。

本論文では、どの病院でも統一されている最低限必要な条件に絞り、これを満足する解を基本解として求めることを目標とすることにした。本論文では、基本解に要求する条件として、表 1 にその内容を示した。

通常 NSP においては 1 日あたりの人員の確保は絶対条件である。しかしながら、本論文では、比較的簡易な設計条件で、NSP 解を得ることを目的としているので、出力後、手作業による修正も視野にいれ、条件をいささか緩和している。

## 3. ナース・スケジューリング問題への適用

### 3.1 NSP とニューラルネットワーク

ナース・スケジューリング問題の解法として、ニューラルネットワークを適用した例として、後藤<sup>10)</sup> の方法がある。これによると、アナログ・ニューロンによる 2 次元構造のニューラルネットワークを用いており、夜勤の種類を表現を複数のニューロンで表現している。

山村<sup>5)</sup> は、NSP に対するニューラルネットワークによるアプローチの難点として、 $x_{ij}$  や  $z_{ij}$  といった変数を持つ 2 次元形式でいかに複雑な禁止パターンを表現・評価するか、という表現上の問題、Hopfield モデルで得られる解が、安定な平衡点であるが、最適解であるという保証はない、という解の質に対する問題などをあげている。加えて、アナログニューロンを用いる Hopfield ネットはニューロンの収束自体も良好でなく、ニューロンを 2 次元に配置した問題を解くのが

せいぜいである。しかしながら、NSP において、考慮すべきパラメータは日付、看護師、勤務シフトの 3 つであり、したがって決定変数は  $x_{ijk}$  と、3 次元構造によるニューラルネットを要求している。こうなると従来のアナログニューラルネットでは対応できない。

しかし、近年、武藤 (Takefuji) ら<sup>8),9)</sup> により、ホップフィールド型ニューラルネットにバイナリニューロンを用いることにより、複数の条件を満たすことを目的とする組合せ最適化問題に対して、良質の解が得られることが報告されている。

Takefuji 型のバイナリニューラルネットの特徴は、従来のマッカロックピッツ型のニューロンを拡張し、出力特性にヒステリシスを持つニューロンを用いたり、ネットが局所解に陥ったりした場合、そこから脱出する工夫 (ヒルクライミング項) があることがあげられる。

この新しいニューラルネットを 3 次元構造にしたモデルを用いて、いろは歌の作成<sup>11)</sup> や空輸計画の作成<sup>12)</sup> が可能なことが報告されている。

NSP も、制約という複数の条件を満たす勤務シフトの並びを決定する、という制約充足型組合せ最適化問題と見ることができることから、本論文では、この Takefuji 型ニューラルネットを NSP に適用することにした。問題点としてあげられていた表現方法としては、 $x_{ijk}$  などの変数を用いた 3 次元形式のニューロンで直方体型の 3D ネットワークを構成し、各行に看護師、各列に日付、各層に勤務シフトを割り当てることにより、勤務表の表現が可能である。

この表現において、看護師の勤務はニューロンの発火で示すことができる。つまり、 $i$  行  $j$  列  $k$  層目のニューロンが発火した場合、看護師  $i$  の  $j$  日目の勤務シフトが  $k$  であるということになる。

以下、基本解を求める方法と、その際に用いるニューラルネットについて、次章で説明する。

### 3.2 ニューラル解法

#### 3.2.1 問題の表現方法

この問題に関して、次のような表現方法をもちいることにした。

まず、 $N \times M \times N$  の 3D ニューラルネットを用意する。各行に看護師、各列に日付、各層に必要な勤務シフトを人数割り当て、これに各層、各列に 1 つずつ、各行に  $m_{ik}$  個ニューロンを発火させる。これにより、看護師  $i$  の  $j$  日の勤務をただ 1 つ割り当て、 $j$  日における勤務シフト  $k$  の必要最小限の人数を確実に確保すると同時に各看護師間の勤務分担の公平化を図る。なお、 $N$  の値は  $N = 6$  とし、スケジュール表

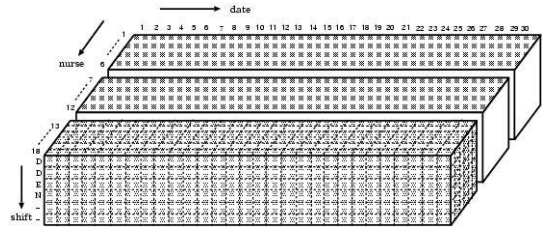


図 1 NSP ニューラル表現例

Fig. 1 Neural expression for NSP.

を 6 人分ずつ分割処理し、それらを統合して最終的な解を求めることとする (図 1 参照)。 $N = 6$  とした根拠は  $N \times N \times N$  の 3 次元  $N$  ルーク問題 (立体的升目に  $N^2$  個の 3 次元に動く“飛車”を効きが当たらないように配置する問題) において  $N = 7$  とすると求解能力が落ちた実験結果による。

以上の構想より、エネルギー関数を以下のように設定した。

$$E = A \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \sum_{k=1}^N V_{ijk} - 1 \right)^2 + A \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \left( \sum_{i=1}^N V_{ijk} - 1 \right)^2 + B \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^M V_{ijk} - m_{ik} \right)^2 \quad (1)$$

動作式はこれを  $V_{ijk}$  で微分したものにヒルクライミング項を加え、以下の式を得る。

$$\frac{dU_{ijk}}{dt} = -A \left( \sum_{p=1}^6 V_{pjk} + \sum_{p=1}^6 V_{ijp} - 2 \right) - B \left( \sum_{p=1}^M V_{ipk} - m_{ik} \right) + C \left\{ h \left( \sum_{p=1}^6 V_{pjk} \right) + h \left( \sum_{p=1}^6 V_{ijp} \right) + h \left( \sum_{p=1}^M V_{ipk} - m_{ik} - 1 \right) \right\} \quad (2)$$

( $m_{ik}$ : スケジュール期間を通しての勤務回数)

ここで  $A, B$  は定数、 $m_{ik}$  は勤務シフト  $k$  に対して 1 日あたりに最低限必要な人数  $d_{jk}$  より、

$$m_{ik} = \frac{(d_{jk}) \times \text{period}}{\text{number} \times \text{class}} \quad (3)$$

$\text{period}$ : スケジューリング期間,  $\text{number}$ : 全体人数,  $\text{class}$ : シフト  $k$  の割り振られた層の数 (図 1 なら D

表 2 スケジューリング結果 ( $A = 1, B = 1/2$ )  
Table 2 A scheduling result ( $A = 1, B = 1/2$ ).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	D	E	N	-
1	E	D	E	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	10	5	5	10
2	D	E	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	11	4	5	10
3	D	D	N	N	D	D	E	E	D	D	E	D	N	D	N	D	N	10	6	6	8	
4	N	N	D	D	E	D	N	N	E	D	N	D	N	D	N	D	N	8	6	6	10	
5	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	10	5	4	11	
6	N	E	E	D	N	E	N	D	D	D	D	D	D	D	N	11	4	4	11			
7	D	E	D	D	N	D	D	D	N	D	N	D	N	D	N	10	4	6	10			
8	D	D	D	D	N	D	E	D	N	D	N	D	N	D	N	11	5	4	10			
9	D	N	E	D	N	E	D	N	D	D	D	D	D	N	11	5	5	9				
10	E	N	N	E	D	N	N	N	D	D	D	D	D	N	9	5	5	11				
11	D	D	D	N	E	D	N	D	E	D	N	D	N	D	9	5	6	10				
12	N	E	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	10	6	4	10				
13	N	D	D	D	N	N	N	N	D	N	D	E	E	E	D	9	6	10				
14	D	D	N	D	N	D	E	E	D	E	D	D	D	N	N	10	6	4	10			
15	D	E	N	D	D	E	N	D	N	D	N	D	N	D	N	11	5	5	9			
16	N	E	D	N	E	D	N	D	D	D	N	E	D	D	D	10	5	4	11			
17	D	E	D	N	E	D	N	D	N	D	D	D	D	N	E	10	5	10				
18	E	D	N	D	N	D	D	D	D	E	E	N	N	N	D	10	4	6	10			
D	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

が 2, N が 1) として与えられる。

第 1 項は各層・各列に 1 つずつニューロンを発火させることを表し, 第 2 項は各行に  $m_{ik}$  個のニューロンを発火させることを表している。第 3 項はヒルクライミング項である。関数  $h$  は

$$h(x) = \begin{cases} 1: & x = 0 \\ 0: & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

を意味する。

ここで, 出力関数はヒステリシス-マッカロック・ピッツニューロン入出力関数 ( $LTP=-1, UTP=2$ ) を用いた。また, ヒルクライミング項にかかる定数  $C$  は通常は  $C = 1, 5$  回に 1 回の割合で  $C = 4$  とする。

3.2.2 例題での実行例

以上の方法を用いて以下の条件の NSP について, 基本解を求める。

期間: 30 日

看護師数: 18 人

1 日あたりの必要な人員:

日勤 (D) ... 6 人

準夜勤 (E) ... 3 人

深夜勤 (N) ... 3 人

非番 (-) ... 6 人

以上の条件から,  $6 \times 30 \times 6$  の 3D ニューラルネットを 3 つ用意し, 図 1 に示す配置を行う。 $A = 1, B = 1/2$  とし, 式 (3) より  $m_{ik} = 5$  となる。その後, 式 (2) におけるニューロンの更新を行う。

この結果の一例を表 2 に示す。この図において, 縦の数字 (1~18) は看護師の番号を表し, 横の数字 (1~30) は, 日付を表す。図中 D は日勤, E は準夜勤, N は深夜勤, また - は非番である。

表 2 より, 1 日あたりの必要な人員の確保ができて, 各看護師間の勤務分担の公平さに関しては日勤, 非番で最大 3 日, および準夜勤, 深夜勤が最大

2 日の差がある。

3.3 その他の条件

3.3.1 禁止パターン

基本解をさらに実用的な解に近づけるため, 禁止パターンの出現をおさえることについて考える。禁止パターンには, 深夜勤-日勤 (ND) などの特定の直前・直後のならびを禁止するものや,  $w$  日間に少なくとも 1 度は休日を入れるなどの, ある期間内での勤務シフトの回数に制限をあたえるものなどがある。これらの禁止パターンの実現に関し, 特定の並びを禁止するものに対しては,  $N$  クイーンのスラッシュ効果に対する項を用いた。すなわち, 今, 勤務シフトの集合  $\{D, E, N, -\}$  の任意の 2 つの要素を  $X, Y$  とし, その指標を  $x, y$  とする。このとき,  $XY$  という並びを禁止するには,

$$\frac{dU_{ijk} (k=x)}{dt} = -D \sum_{q=y} V_{i(j+1)q} \quad (5)$$

を動作式に付加すればよい。これにより, たとえば  $X=N, Y=D, (x = night, y = day)$  とすることにより ND などの特定の並びを抑制することができる。また, ある期間内の勤務シフトの回数を制限するものに関しては, その期間内を調べて条件に対する評価を与えるような式を作成し, これらを動作式に組み込むことにより実現が可能である。その例として,  $w$  日に 1 度は休日 (非番) を入れたい場合,

$$\begin{aligned} \frac{dU_{ijk(k=off)}}{dt} &= H \left[ \left\{ w - \sum_{q=off} \sum_{p=1}^{w-1} (V_{i(j+p)q}) \right\} / w \right] \\ &+ H \left[ \left\{ w - \sum_{q=off} \sum_{p=1}^{w-1} (V_{i(j-p)q}) \right\} / w \right] \end{aligned} \quad (6)$$

を動作式に付加する。

この 2 つのほか, 準夜勤-日勤 (ED), 深夜勤-準夜勤 (NE), 3 連続深夜勤 (NNN), および  $w$  日間に 1 回も日勤が入らない ( $w$  は週を意識して 7 とした), などの禁止パターンを追加し, 3.2.2 項と同じ問題に対して実行した。ただ, 本論文では基本解を求める立場から, 禁止パターンに対してはどれほどこれらを考慮の対象に入れることが可能かという目安を考えることが必要である。実際, 上述の禁止パターン数がほぼ限界であり, ニューラルシステムが解を出せないことも多い。特に第 4 層 (N) と第 1, 第 2 層 (D) の間で禁止パターンを表現する ND は, この例においては, 求解上のボトルネックになりやすい。この場合におい

表 3 禁止パターンを導入したスケジューリング結果 ( $D = 1$ ,  $H = 1$ )

Table 3 A scheduling result added in forbidden patterns ( $D = 1, H = 1$ ).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	D	E	N	-
1	N	-	D	E	-	D	E	-	N	-	D	E	-	N	-	D	E	-	10	5	5	10
2	-	N	-	D	E	-	N	-	D	E	-	N	-	D	E	-	N	-	11	4	5	10
3	-	-	D	-	D	E	-	N	-	D	E	-	N	-	D	E	-	10	6	5	9	
4	D	D	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	E	-	10	5	4	11	
5	E	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	10	5	5	10	
6	D	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	9	5	6	10
7	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	10	5	5	10	
8	E	N	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	9	4	6	11
9	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	11	5	4	10
10	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	10	5	4	11
11	-	-	D	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	10	6	5	9	
12	D	-	N	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	10	6	5	9
13	D	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	11	5	5	9	
14	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	9	5	5	10
15	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	11	5	4	10	
16	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	9	5	5	11	
17	-	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	10	4	5	11
18	N	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	10	6	5	9	
D	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

表 4 指定休日

Table 4 Appointed day off.

看護師	休日	看護師	休日
1	1, 5, 10, 15, 20	10	10, 14, 19, 24, 29
2	2, 6, 11, 16, 21	11	11, 15, 20, 25, 30
3	3, 7, 12, 17, 22	12	12, 16, 21, 26
4	4, 8, 13, 18, 23	13	13, 17, 22, 27
5	5, 9, 14, 19, 24	14	14, 18, 23, 28
6	6, 10, 15, 20, 25	15	15, 19, 24, 29
7	7, 11, 16, 21, 26	16	16, 20, 25, 30
8	8, 12, 17, 22, 27	17	17, 21, 26
9	9, 13, 18, 23, 28	18	18, 22, 27

表 5 指定休日導入スケジューリング例

Table 5 A scheduling result added in appointed day off.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	D	E	N	-
1	-	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	D	-	D	E	-	N	-	9	6	5	10											
2	D	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	12	4	4	10												
3	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	10	4	6	10												
4	E	-	E	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	10	5	5	10												
5	N	-	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	10	6	4	10													
6	D	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	9	5	6	10													
7	D	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	12	5	4	9													
8	N	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	10	5	6	9												
9	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	8	6	6	10												
10	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	9	5	6	10													
11	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	11	4	4	11													
12	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	10	5	4	11													
13	-	E	-	E	-	N	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	9	5	5	11													
14	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	11	5	5	9													
15	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	9	5	6	10												
16	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	12	5	4	9												
17	D	-	D	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	E	-	10	4	5	11												
18	N	-	N	-	N	-	D	-	D	-	E	-	N	-	D	-	D	-	9	6	5	10												
D	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6			

ては、NDの禁止を式(5)に代えてDNDの並びを禁止する、すなわち

$$\frac{dU_{ijk(k=night)}}{dt} = -D \sum_{q=d}^{day} (V_{i(j+1)q} + V_{i(j-1)q}) \quad (7)$$

とすると比較解が得やすくなるという知見を得ている。表3より、1日に必要な人員の確保はできている。また、月を通して各看護師の労働負荷も表2とほぼ同様である。また禁止パターンと休日の制約は、これを完全に実現できている。

### 3.3.2 指定休日

指定休日の実現は、看護師が希望した日を確実に休日にするという点で、看護師の労働水準を維持するためには必要不可欠なものである。この指定休日の実現に対して、2つの方法が考えられる。1つは、休日が希望された日のニューロンの状態を固定してしまい、最初からその部分に対しては計算を行わない方法、もう1つは、その日を休みにする方向に作用する項を動作式の中に組み込む方法である。これらの方法は、一長一短である。前者の方法には、確実に指定された日を休日にできるという利点があるが、そうするとスケジュールが成り立たない可能性があり、解がいつまでたっても収束しないということになりかねない。これに対して後者の方法ならば、動作式の中に組み込んでいるため、指定休日の決定にスケジュール表全体の状態を反映させることができる。よって、指定休日がすべて希望どおりになるとはいえないが、解の収束性は維持できる。

後者の方法の具体的な実現方法として、ヒルクライミング項を利用する方法が考えられる。ヒルクライミング項は、本来解が局所解に陥ったとき、これから脱出するために強制的にニューロンを発火させる役割を

持つが、指定休日の実現のために、指定された日のスケジュールが休日になっていない場合をこの局所解と見なし、強制的に休日にあたる層のニューロンを発火させる働きを持たせた。

表4のように休日を指定し、実行した結果を表5に示す。同日間隔で、各看護師が日をずらして指定しているため斜めのラインで割当ての成否を確認できる。また、前述の禁止パターンのうち連続夜勤と休日に関する制約は、これを外してある。

表5より、看護師1の15日目、および看護師7の11日目の休日が日勤となっている以外、指定された休日は実現できている。

### 3.3.3 看護師数を任意にした場合

以上で提案した方法は、扱う問題に対し、6の倍数の看護師を扱い、かつ各シフトに振り分ける人数もそれぞれ最終的なブロック数の倍数でなければならないという制約がある。これを任意の数の看護師を扱えるようにするための方法として、あらかじめ看護師数を多めに設定しておき、求めたスケジュールから、一番条件にあうように余分な看護師を削るという方法が考えられる。

これを次のような問題に適用する。

表 6 人数調整後スケジューリング結果

Table 6 A scheduling result after adjustment.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	D	E	N	_
1	D	-	NN	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
2	D	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
3	D	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
4	D	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
5	NN	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
6	E	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
7	E	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
8	-	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
9	-	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
10	-	D	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
11	E	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
12	DD	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
13	NN	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
14	D	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
15	-	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
16	DD	-	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
17	E	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
18	-	-	DD	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
19	N	-	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
20	DD	E	-	-	DD	-	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	DD	-	E	NN	-	DD	-	-	-	-
D	6	7	7	7	7	6	6	7	7	7	6	6	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	
E	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	
N	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
_	8	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	7	6	7	7	6	7	7	7	6	7	

期間： 30 日

看護師数： 20 人

1 日あたりの必要な人員：

日勤 (D) … 7 人

準夜勤 (E) … 3 人

深夜勤 (N) … 3 人

非番 ( ) … 7 人

この問題に対し、次のような手順で解を求める。その結果を表 6 に示す。

- (1) D : E : N : \_ = 2 : 1 : 1 : 2 のブロックを 4 つ作り、看護師数を 24 人として解を求める。
- (2) 求めた解から、4 人を削ることを考え、削った結果が、D : E : N : \_ = 7 : 3 : 3 : 7 に一番近くなるような 4 人の組合せを探す。

表 6 においては 1 日あたりの日勤者が不足している日が 9 日にも及んでいる。本論文で定義した NSP 解の範疇には入るものの、現実的には要求の度合いに応じて修正が必要となると思われる。

### 3.4 考 察

必要最低人数を満たしつつ各看護師の勤務分担の公平化を考慮したうえで、いろいろな禁止パターンや、指定休日を動作式に取り入れ、これらをほぼ実現する解を求めることができた。さらに、この解法の利点として、ブロック別に看護師を振り分けることで、スキルによるチーム編成などの看護師のグループ化を実現できることがあげられる。しかし、取り入れる条件が増えるにつれて解にたどり着く確率が下がり、その結果、1 つの解を求めるためにかかる時間が大きくなった。このことに関しては、今後の実用化を考えるにあたり、さらに安定して解を求めることのできる、収束率の高いアルゴリズムを考えることが必要不可欠だと考えられる。

### 4. おわりに

本論文では、実際の医療機関・病院などで切実な問

題として認識されているナース・スケジューリング問題 (NSP) に対して、比較的簡単な構造ながら、3 交代制のスケジュール解を得るニューラルネットワークシステムを提案した。

こうした 3D ニューラルネットのうち、制約充足解を求めうる最大の単位として  $6 \times M \times 6$  の構成を考え、これを並列に用いることにより、NSP の解を得ている。これにより、日ごとのシフト人数の制約と月を通しての労働負荷の均等化を図る基本解についてはほぼ満足できる解を得ることができた。またこれに加え、いくつかの禁止パターン (例：ND, ED) の抑制や指定休日の実現もニューロンの動作式により可能ならしめた。また、看護師間に、経験や技量に差がある場合、日ごとの割当ては、これらを適度に混在させた方が望ましい。

たとえば特定の日に新人の看護師が集中したりすると、思わぬ医療過誤を招くおそれがある。このような場合でも図 1 でのニューラルネットに対して新人-中堅-ベテランの看護師を割り振ると、出力される解は自動的に各スキルを混在させたものになる。

提案した解法は細部を見ればまだ改良の余地を残しているとはいえ、従来から要求されている多くの要求を充足した解を得ることができる。

今後の課題としては、入力から出力までを自動化し、作成者との対話により、現実的な修正を行うことのできるシステムの完成が望まれる。

### 参 考 文 献

- 1) 池上敦子ほか：ナース・スケジューリング・システム構築のための基礎的調査研究，労働科学，Vol.71, No.10, pp.413-423 (1995).
- 2) 池上敦子，丹羽 明，大倉元宏：わ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) 池上敦子：ナース・スケジューリング問題のモデル化について，情報処理学会：数理モデル化と問題解決研究報告，No.5, pp.1-6 (1996).
- 4) 池上敦子：2 交代制ナース・スケジューリングのアルゴリズム改善，*Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.43, No.3, pp.365-381 (2000).
- 5) 山村雅幸ほか：遺伝的アルゴリズムによるナーススケジューリング，「遺伝的アルゴリズム 2」第 4 章，北野宏明 (編)，産業図書 (1995).
- 6) 太田，山村，小林：遺伝的アルゴリズムを用いた Nurse Scheduling Problem の解法，第 16 回知能システムシンポジウム，pp.123-130 (1992).
- 7) 川中普晴，山本康高，吉川大弘，篠木 剛，鶴岡信治：遺伝的アルゴリズムを用いた看護婦勤務表

の自動作成, 電気学会論文誌, Vol.122-C, No.6, pp.1023-1032 (2002).

- 8) 武藤佳恭: ニューラルネットワーク, 産業図書 (1996).
- 9) 武藤佳恭: 応用事例ハンドブック・ニューラルコンピューティング, 共立出版 (2001).
- 10) 後藤高志, 阿瀬 始, 山岸 誠, 廣田美晴, 藤井 聡: 計画型問題への GA・ニューラルネット・AI の応用, NKK 技報, No.144, pp.78-85 (1993).
- 11) 吉池紀子, 北端美紀, 武藤佳恭: ニューラルコンピューティングの「いろは歌」作成への応用, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol.42, No.SIG5, pp.99-106 (2001).
- 12) 黒川恭一, 竹下 研: ニューラルネットワークを利用した空輸計画の作成, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.7, pp.1223-1232 (2002).

(平成 15 年 12 月 24 日受付)

(平成 16 年 3 月 29 日再受付)

(平成 16 年 6 月 12 日再々受付)

(平成 16 年 8 月 12 日採録)



金川 明弘 (正会員)

1958 年生. 1983 年 3 月神戸大学工学部システム工学科卒業. 1988 年 4 月大阪府立大学工学部経営工学科助手. 1993 年 4 月岡山県立大学情報工学部助教授. 1997 年 4 月同大学大学院修士課程, ならびに 1999 年 4 月同博士課程担当助教授. 現在に至る. ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化問題の解法等の研究に従事. 博士 (工学). 日本経営工学会, 日本 OR 学会, 電子情報通信学会等の会員.



山根 千佳

1979 年生. 2002 年岡山県立大学情報工学部情報通信工学科卒業. 同年 (株)ニューメディア総研入社. 在学中は NSP の研究に従事. MPS シンポジウム等で発表を行った.



高橋 浩光 (正会員)

1941 年生. 1971 年 3 月大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了. 同年 4 月大阪府立大学工学部数理工学科助手. 1973 年同講師. 1994 年 4 月岡山県立大学情報工学部教授. 1997 年 4 月同大学大学院修士課程, ならびに 1999 年 4 月同博士課程担当教授. 現在に至る. グラフ理論, アルゴリズム等の研究に従事. 工学博士, IEEE, 電子情報通信学会, 日本数学会各会員.